

# **Devrait-on instaurer un système de péage sur les ponts de l'Île de Montréal?**

**Une étude Avantages-Coûts**

**Rapport de recherche présenté à**

**Monsieur Fernand Martin**

**Par:**

**Alain Doyon**

**Août 2009**

# 1 Sommaire

Cette étude vise à évaluer, d'un point de vue économique, la valeur d'un projet d'instauration d'un péage sur les ponts de l'Île de Montréal. Ce péage aurait comme objectif de réduire le problème de congestion routière en diminuant le volume global de véhicules sur les routes de la région de Montréal.

La méthode utilisée pour déterminer la rentabilité économique est celle de l'analyse avantages-coûts effectuée à partir du calcul de la valeur actualisée nette (VAN) du projet. La période d'analyse est de 16 ans et commence en 2003, année où les dernières données sur l'achalandage et sur la congestion montréalaise sont disponibles.

L'avantage économique du projet est le gain de temps des automobilistes attribuable à la réduction de la congestion. Les coûts sont les coûts d'exploitation et de construction et la perte de surplus des consommateurs. Les externalités sont les accidents évités, la pollution évitée et l'investissement nécessaire en transport en commun.

L'évaluation économique de ce projet montre que, avec un péage de 7\$ par passage, le projet est très rentable, avec une VAN de 3 238 334 603 \$ : les avantages se chiffrent à 5 509 518 894 \$, les coûts à 1 426 674 685 \$ et les externalités à - 849 878 062 \$. Les externalités sont négatives, car l'investissement nécessaire en transport en commun est très élevé. Le taux d'actualisation utilisé est celui recommandé par le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada pour les projets publics en 1998 et est de 10 %.

## **2 Remerciements**

Je tiens à remercier les personnes suivantes:

Monsieur Fernand Martin du département de sciences économiques de l'Université de Montréal pour avoir accepté de me superviser dans ce long travail et pour avoir répondu à toutes mes questions.

Catherine Laplante de chez Les Conseillers ADEC pour m'avoir fourni des idées, des données et références qui ont ajouté de la précision à cet ouvrage et sans qui j'aurais sans doute traîné encore plusieurs mois avant de terminer ce rapport.

Marie-Line Audy pour avoir gracieusement accepté de corriger mes nombreuses fautes.

Karine Daigneault pour ses conversations et ses suggestions intéressantes qui m'ont aidé à commencer ce projet.

Jasmine Marceau, pour m'avoir soutenu moralement et financièrement pendant tout le projet.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>1 : Sommaire.....</b>	<b>2</b>
<b>2 : Remerciements.....</b>	<b>3</b>
<b>3 : Historique.....</b>	<b>7</b>
<b>4 : Problématique.....</b>	<b>8</b>
<b>5 : Définitions.....</b>	<b>9</b>
<b>6 : Les causes de la congestion.....</b>	<b>10</b>
<b>7 : Les données de base.....</b>	<b>11</b>
7.1 : L'achalandage.....	11
7.2 : L'horizon temporel.....	12
7.3 : La zone considérée.....	12
7.4 : Le taux d'actualisation.....	13
7.5 : Le fonctionnement du péage.....	13
7.6 : Les heures et le montant du péage.....	15
7.7 : La croissance de l'achalandage.....	15
<b>8 : La réduction de la demande de transport.....</b>	<b>16</b>
8.1 : La valeur du temps de transport.....	16
8.1.1 : Motifs de déplacement.....	16
8.1.2 : Motif « affaires ».....	16
8.1.3 : Motif « navettage ».....	16
8.1.4 : Motif « étude ».....	17
8.1.5 : Motif « autres ».....	17
8.2 : Revenus des individus.....	17
8.2.1 : Les contributions de l'employeur.....	18
8.2.2 : Le salaire net.....	19
8.3 : Coûts généralisés de transport.....	20
8.3.1 : Coûts liés à la voiture.....	20
8.3.2 : Coût du temps de transport.....	21
8.4 : La réduction de la demande.....	22

<b>9 : L'analyse avantages coûts.....</b>	<b>25</b>
<b>10 : Les avantages.....</b>	<b>26</b>
10.1 : La congestion récurrente.....	26
10.2 : La congestion incidente.....	28
<b>11 : Les coûts.....</b>	<b>30</b>
11.1 : Les coûts d'opération.....	30
11.2 : Les coûts de construction.....	32
11.3 : Le coût des transpondeurs à installer dans les véhicules.....	33
11.4 : La perte de surplus des usagers des ponts.....	33
<b>12 : Les externalités.....</b>	<b>37</b>
12.1 : La réduction des accidents.....	37
12.2 : La réduction de la pollution.....	38
12.3 : Le coût supplémentaire en transport en commun.....	41
<b>13 : La valeur résiduelle.....</b>	<b>44</b>
<b>14 : La VAN.....</b>	<b>45</b>
<b>15 : Analyse de sensibilité.....</b>	<b>47</b>
15.1 : La valeur de la vie.....	47
15.2 : L'élasticité de la demande.....	47
15.3 : Le taux d'actualisation.....	49
15.4 : Les coûts d'opération et de construction.....	49
15.5 : Coût d'opération des véhicules.....	50
15.6 : L'année de référence.....	51
15.7 : Montant du péage.....	51
<b>16 : Les avantages qualitatifs.....</b>	<b>53</b>
<b>17 : Conclusion.....</b>	<b>54</b>
<b>18 : Bibliographie.....</b>	<b>55</b>

## Liste des Tableaux

Tableau 1 : Classes de revenus.....	18
Tableau 2 : Salaire brut et contributions de l'employeur.....	18
Tableau 3 : Salaire net.....	19
Tableau 4 : Valeur du temps de transport pour motif navettage et études.....	20
Tableau 5 : Coûts d'opération de l'E-470.....	31
Tableau 6 : Coût moyen des accidents selon la gravité.....	38
Tableau 7 : Valeur de la pollution.....	39
Tableau 8 : Taux moyen d'émission de polluants pour un véhicule léger.....	40
Tableau 9 : Variation de la VAN avec l'élasticité.....	48
Tableau 10 : Sensibilité de la VAN aux couts de construction et d'opération.....	49
Tableau 11 : Sensibilité de la VAN aux coûts d'opération et de propriété des véhicules.....	50
Tableau 12 : Sensibilité de la VAN au montant du péage.....	52

## Liste des Figures

Figure 1 : Coût social et privé du transport.....	10
Figure 2 : Zone considérée dans l'enquête Origine-Destination.....	13
Figure 3 : Perte de surplus du consommateur en fonction du prix.....	34
Figure 4 : Demande de transport en commun.....	35

### 3 Historique

L'idée d'instaurer un péage sur les ponts de Montréal n'est pas nouvelle. Le pont Champlain a été un pont à péage jusqu'en mai 1990, date où le péage a été aboli. Le pont Jacques-Cartier était muni de postes de péage jusqu'en juin 1962.

De nos jours au Québec, il n'existe aucune route importante à péage. Les projets de l'autoroute 25, dont la complétion est prévue pour 2011, et de l'autoroute 30 sont les seuls projets en construction qui font appel au péage. Ces péages seront des péages de financement, dont l'objectif sera de payer pour la construction et la réfection des autoroutes, ainsi que d'amener une entrée d'argent pour l'exploitant privé.

Cependant, depuis quelques années, plusieurs projets dans le monde ont instauré des péages dans des axes routiers ou des zones fortement fréquentées. Ces péages, souvent appelés « taxe à la congestion », tentent de faire diminuer la congestion en facturant les automobilistes pour avoir un droit de passage sur l'axe routier congestionné. Certain des usagers, faisant face à un prix de transport plus élevé, vont abandonner leur voiture pour utiliser un autre mode de transport ou tout simplement annuler leur voyage. Plusieurs de ces projets ont été considérés comme des succès, notamment le péage de Stockholm qui a été implanté de façon permanente le premier août 2007 et celui de Londres inauguré en février 2003, où le péage englobe seulement le centre-ville. Dans le péage de Londres, les autorités ont calculé que le nombre de véhicules dans la zone de péage avait diminué d'environ 10 % (Transport for London, 2007), ce qui représente une diminution importante de la congestion dans la zone visée.

## 4 Problématique

La région de Montréal a vu exploser ses coûts liés à la congestion. En effet, ces coûts ont augmenté de 69 % en 5 ans seulement, en passant de 841 M\$ (\$ de 2003) en 1998 à 1 423 M\$ en 2003. Pendant cette période, bien que l'achalandage n'ait augmenté que de 8 %, le nombre total d'heures de retard a progressé de 49 % (Les conseillers ADEC inc., 2009). Une des solutions envisagées pour réduire le phénomène est d'instaurer des péages sur les ponts de Montréal, ce qui inciterait les banlieusards à changer de mode de transport. Cependant, les banlieusards sont généralement contre cette idée, car le péage correspond à une taxe dirigée spécifiquement vers les banlieues, alors que les habitants de Montréal ne paieraient presque rien. Il reste tout de même intéressant de savoir si l'idée pourrait avoir un impact positif sur l'économie.

La question qui est posée est donc la suivante : devrait-on instaurer un système de péage sur les ponts de Montréal ? Pour tenter de répondre à cette question, il faut d'abord déterminer de quel point de vue l'étude sera faite. Le point de vue abordé est celui de l'ensemble de la société québécoise. L'objectif de ce rapport est donc d'appliquer la méthode de l'analyse avantages-coûts pour déterminer la rentabilité économique de ce projet.



## 5 Définitions

Pour déterminer les coûts et les avantages associés à un tel projet, il convient tout d'abord de définir ce qu'est la congestion. Plusieurs indicateurs peuvent être utilisés pour mesurer la congestion, par exemple le temps de transport en automobile, le nombre de minutes de retard, le nombre de véhicules passant dans un tronçon routier en un temps donné, la vitesse de déplacements, etc.

Les indicateurs retenus pour ce rapport sont :

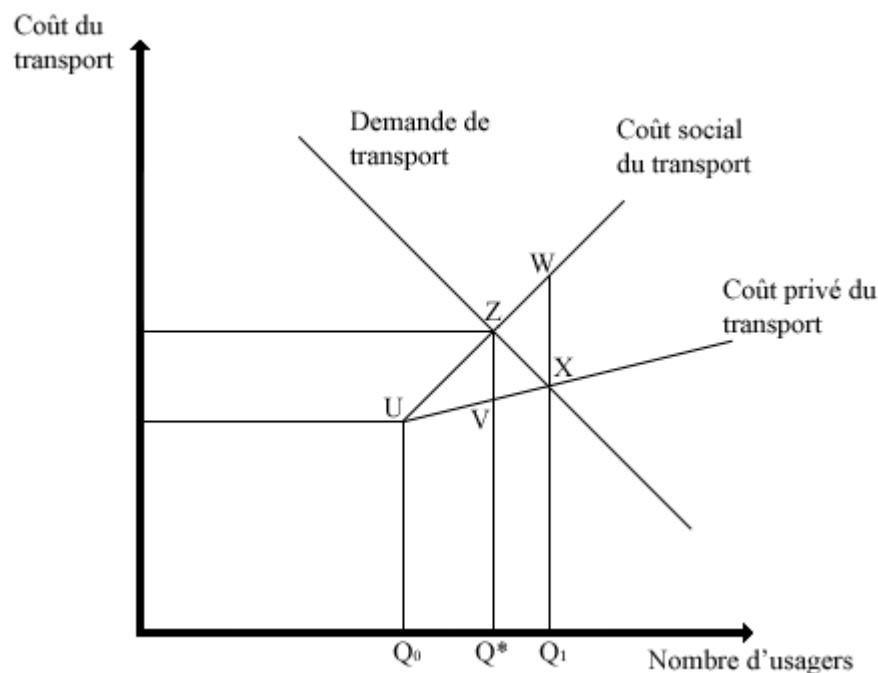
- Pour mesurer l'achalandage sur les routes : le nombre de véhicules-kilomètres parcourus. Un véhicule-kilomètre peut signifier qu'un véhicule a parcouru 1 kilomètre ou que deux véhicules ont parcouru chacun un demi-kilomètre.
- Pour mesurer la congestion : le nombre de minutes de retard. C'est le temps de transport supplémentaire, causé par la congestion, qu'un usager doit prendre pour se rendre à sa destination.

Mesurer le nombre de minutes de retard n'est pas chose aisée. Il faut d'abord connaître le temps de transport sans congestion, appelé « temps en écoulement libre ». Cependant, en comparant le temps de transport réel avec le temps en écoulement libre, les coûts de congestion sont généralement surévalués (National Cooperative Highway Research Program, 2001). Il est plutôt recommandé de comparer le temps réel de transport avec le temps requis pour effectuer le déplacement à un certain pourcentage de la vitesse d'écoulement libre. Plusieurs pourcentages ont été utilisés dans la littérature : diverses études réalisées pour Transport Canada utilisent les ratios de 50 %, 60 % et 70 %. Ce rapport se base sur le ratio de 60 % pour être conforme avec l'étude sur la congestion (Les conseillers ADEC inc., 2009).

## 6 Les causes de la congestion

La congestion urbaine provient d'un volume de demande de transport trop élevé par rapport à la capacité du réseau routier. La congestion peut aussi être vue comme une externalité négative qu'un usager impose aux autres usagers. Le problème provient du fait que les usagers vont faire leurs choix de consommation sans se soucier du tort qu'ils vont faire aux autres automobilistes. L'utilisateur fera son choix en prenant en compte son coût « privé » de transport (Voir la Figure 1).

Figure 1 : Coût social et privé du transport



Cependant, comme la présence de l'utilisateur sur les routes va causer une augmentation de la congestion pour tous les autres automobilistes, son coût social sera plus élevé que son coût privé. L'équilibre se fera en  $Q_1$  et le coût privé du transport sera X. Le coût économique supplémentaire, représenté par XW, est supérieur à la volonté de payer représenté par la courbe de demande de transport, ce qui signifie qu'il y a un gaspillage correspondant au triangle délimité par ZWX. Pour éviter ce gaspillage, il faudrait que l'achalandage soit de  $Q^*$ . En imposant un péage au montant de VZ, on s'assure que l'achalandage ne dépassera pas  $Q^*$  et que la route sera utilisée de façon

optimale pour la société.

## **7 Les données de base**

### **7.1 L'achalandage**

Les données sur l'achalandage des routes de la grande région de Montréal proviennent de l'enquête Origine-Destination (Agence Métropolitaine de Transport, 2003). De plus, les résultats de l'enquête O-D ont été ajustés par le Ministère du transport du Québec pour être plus conformes aux divers comptages effectués sur le terrain. Ces résultats modifiés ont par la suite été utilisés par le système de simulation MORTREM03 pour produire la rapport sur la congestion de Montréal (Les conseillers ADEC inc., 2009).

L'enquête O-D fournit les données relatives à la période de pointe du matin, mais ne donne aucune information sur la période de pointe de l'après-midi. L'hypothèse a été faite que les déplacements en période de pointe de l'après-midi sont les mêmes que ceux du matin, en inversant l'origine et la destination. Les résultats peuvent être présentés sous la forme d'une matrice de déplacements qui indique les volumes de déplacement entre chaque paire de secteurs géographiques couverts par l'enquête. À partir de cette matrice, il est possible de déterminer que :

- À chaque jour, pendant les périodes de pointe, environ 2 150 000 voitures empruntent les routes dans la grande région de Montréal.
- Ces voitures parcourent un total d'environ 28 250 000 kilomètres.
- De ces 2 150 000 voitures, environ 500 000 voitures empruntent un des ponts menant à l'Île de Montréal, ce qui représente 23,3 % des voyages.
- Ces 500 000 voyages représentent environ 12 500 000 kilomètres, ce qui représente 44,2 % des kilomètres parcourus.

La divergence entre le ratio des voyages empruntant les ponts et celui des kilomètres parcourus s'explique par le fait que les automobilistes empruntant un pont vont, en général, parcourir une plus grande distance.

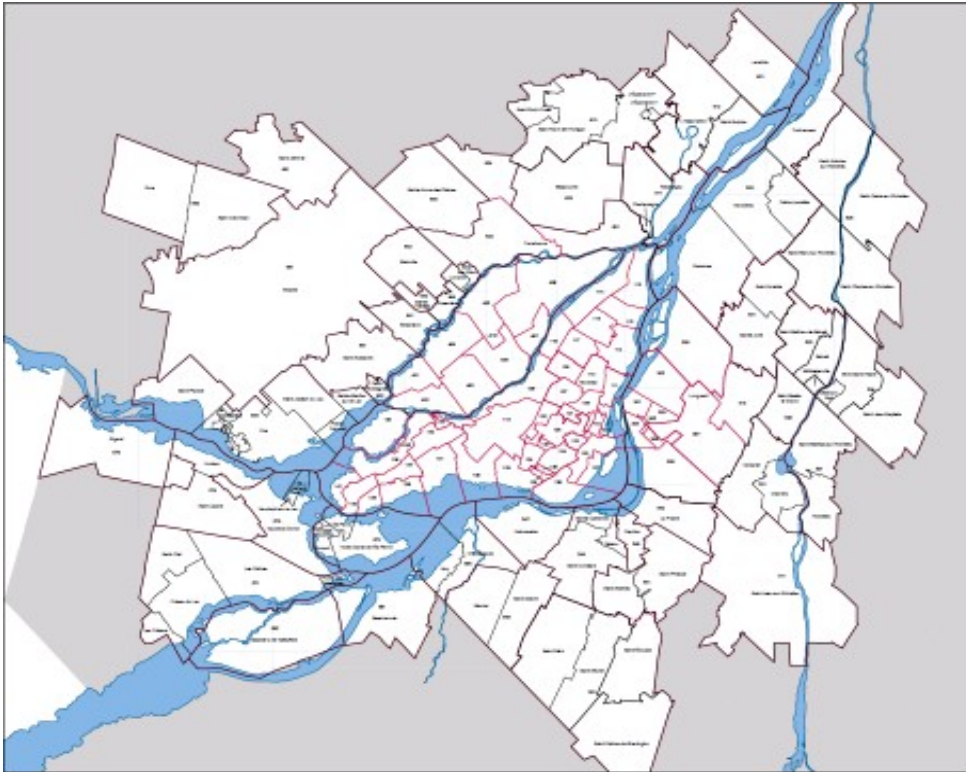
## **7.2 L'horizon temporel**

L'horizon temporel choisi est de 16 ans, ce qui correspond à la durée de vie -15 ans- du matériel utilisé pour les postes de péage selon le programme d'aide gouvernementale au transport collectif des personnes (Direction du transport terrestre des personnes, 2008), à laquelle on ajoute 1 an de construction et de mise en place. Puisque toutes les données sur l'achalandage datent de 2003, on suppose que le projet débute en 2003, année où commencent les travaux de construction, et prend fin en 2019. Une analyse de sensibilité sera par la suite effectuée pour estimer l'effet d'un changement d'année de référence.

## **7.3 La zone considérée**

La zone considérée est celle de l'enquête Origine-Destination, à laquelle le Ministère du transport du Québec a ajouté un secteur « extérieur » qui représente les déplacements effectués par des automobilistes dont l'origine ou la destination se situe en dehors de la zone couverte.

*Figure 2 : Zone considérée dans l'enquête Origine-Destination*



Le territoire couvert englobe 88 municipalités et correspond à environ 5500 km<sup>2</sup>.

## **7.4 Le taux d'actualisation**

Le taux d'actualisation dans une étude économique représente le coût d'opportunité des fonds publics, qui peut être différent du taux auquel le gouvernement peut emprunter. Comme la date de début du projet est en 2003, il faut utiliser le taux d'actualisation en vigueur à cette époque. Selon le Secrétariat du Conseil du Trésor (Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, 1998), ce taux devrait être à 10 %. Ce taux s'applique à des projets calculés en dollars constants.

## **7.5 Le fonctionnement du péage**

Depuis les premiers péages datant du milieu du 20<sup>e</sup> siècle, la technologie a beaucoup évolué. En effet, de nos jours, il n'est plus nécessaire d'avoir recours aux collectes manuelles du péage et le

débit routier n'est plus interrompu. Les péages récents de Londres utilisent une technologie faisant appel à des caméras qui prennent en photo la plaque d'immatriculation de chaque véhicule passant dans la zone de péage. On note que ces caméras font largement appel à d'autres spectres lumineux que la lumière visible pour pouvoir détecter plus clairement les caractères. Après avoir passé la zone de péage, les usagers ont une journée pour, par internet, téléphone ou en utilisant des boîtes de péage disposées à certains endroits dans la ville, payer les frais encourus. Après une journée, on compare la liste des gens ayant passé dans le péage avec celle des individus ayant payé leurs frais et une amende est encourue à ceux qui ont omis de payer.

Le défaut de cette technique est la précision du système de reconnaissance des plaques d'immatriculation. En effet, le système peut faire des erreurs et charger des frais à une personne n'ayant pas utilisé la route.

Un second type de péage utilise des GPS (global positioning system) pour déterminer le trajet d'un individu et ainsi pouvoir déterminer s'il a franchi une zone de péage. Ce système a entre autres été utilisé pour les camions commerciaux en Allemagne. Il permet d'éviter les coûts de construction des postes de péage et d'ajuster les péages de façon très souple, selon le trajet de l'individu. Cependant, avec un tel péage, tous les usagers doivent avoir un GPS dans leur véhicule et ce système est très dispendieux.

D'autres types de péage, comme celui de l'autoroute 407 à Toronto ou de la « E-470 » au Colorado, utilisent un système de puce électronique, souvent appelée transpondeur, placée dans chaque véhicule. Lorsque le véhicule passe dans la zone payante, un capteur identifie le transpondeur et charge les frais de péage à l'utilisateur. Lorsqu'un usager sans transpondeur à bord de son véhicule passe dans une borne de péage, un système similaire à celui de Londres entre en jeu et la facture est envoyée par la poste à la fin de chaque mois. Dans ce type de péage, les gens munis d'un transpondeur ont généralement accès à un prix inférieur.

Cette technique de péage commet moins d'erreurs que celle de Londres, mais les usagers ont le tracasserie de devoir se procurer un transpondeur s'ils veulent profiter du rabais. Ce transpondeur est toutefois beaucoup moins dispendieux qu'un GPS.

C'est cette troisième technologie qui a été retenue pour ce rapport, car elle est plus fiable que la première et moins chère que la seconde, sans toutefois avoir recours aux collectes manuelles.

## **7.6 Les heures et le montant du péage**

L'objectif du péage est de taxer la congestion. Ainsi, le péage ne sera en fonction que pendant les périodes de pointe du matin, de 6h00 à 9h00, et de l'après-midi, de 15h30 à 18h00. Un des avantages de cette pratique est d'inciter les gens ayant un horaire flexible à changer l'heure à laquelle ils empruntent un pont, pour désengorger les heures les plus critiques de la journée. Le montant du péage est supposé être de 7 \$ par passage. Une analyse de sensibilité sera effectuée pour divers autres montants.

## **7.7 La croissance de l'achalandage**

Le service de la modélisation des systèmes de transports a publié en 2007 un document indiquant la croissance attendue dans l'achalandage routier à Montréal jusqu'en 2026 (SMST, 2007). Ils estiment qu'entre 2003 et 2026, le nombre de déplacements devrait augmenter de 11.5%. Cependant, la plus grande partie de cette augmentation se ferait en dehors des heures de pointe, pour des raisons démographiques. Avec le vieillissement de la population, de plus en plus d'individus sont retraités et lorsqu'un individu se déplace pour une raison autre que le travail ou les études, il choisira souvent une heure en dehors de la période de pointe.

L'augmentation prévue des déplacements entre 2003 et 2026, uniquement dans la période de pointe, est de 7.92%.

Cependant, lorsque l'on observe l'augmentation du nombre de véhicules sur les routes, la tendance n'est pas tout à fait la même. Bien que l'augmentation des déplacements dans les périodes de pointe n'est que de 7.92%, la croissance du nombre de véhicules sur les routes atteint 17%. Cette différence est attribuable, selon le SMST, à la progression de la motorisation des femmes ainsi qu'au vieillissement de la population. En répartissant cette croissance sur les 23 années de 2003 à 2026, on obtient une augmentation moyenne de  $17 / 23 = 0.739\%$  par année.

## **8 La réduction de la demande de transport**

### **8.1 La valeur du temps de transport**

La valeur du temps est une donnée importante pour l'analyse avantages-coûts de ce projet. En effet, les individus perdent beaucoup de temps à cause des retards attribuables à la congestion. Si le projet diminue la congestion, il diminuera donc les retards et la valeur de temps ainsi épargné devra être comptabilisée.

#### **8.1.1 Motifs de déplacement**

Le guide de l'analyse avantages-coûts des projets publics en transport (Ferland, 2008) suggère de séparer les déplacements selon 4 motifs, ayant chacun leur propre valeur du temps : le motif « affaires », « navettage », « étude » et « autres ». L'enquête origine-destination fournit le nombre de déplacements effectués pour chaque motif, ce qui permet de faire les calculs de façon précise.

#### **8.1.2 Motif « affaires »**

Ce motif regroupe les déplacements effectués en situation de travail, par exemple : un plombier rémunéré pendant son déplacement pour se rendre chez un client, ou un employé dont le métier consiste à conduire un véhicule tel qu'un livreur ou un chauffeur d'autobus. Dans ce cas, l'augmentation de temps de transport correspond directement à un coût pour l'employeur. La valeur du temps pour le motif « affaires » sera donc le salaire brut de l'employé, auquel on ajoute les contributions de l'employeur aux divers programmes sociaux.

#### **8.1.3 Motif « navettage »**

Le motif « navettage » est utilisé pour désigner le transport entre le travail et le domicile. Comme ce temps de transport peut empiéter à la fois sur le temps de travail et sur le temps de loisir, la



valeur du déplacement sera la moyenne entre la valeur du transport pour le motif « affaire » et celle du motif « autres » tel que spécifié dans le guide employé par le Ministère des Transports du Québec (MTQ) (Ferland, 2008).

#### **8.1.4 Motif « étude »**

Les déplacements entre un établissement d'enseignement et le domicile, lorsqu'ils ne sont pas effectués pour une raison de travail, entrent dans ce motif. Sa valeur est estimée à 25% de celle du motif « affaire ».

#### **8.1.5 Motif « autres »**

Cette catégorie regroupe tous les déplacements liés aux loisirs, au magasinage ou tout autre déplacement non couvert par les catégories précédentes. Le guide du MTQ estime la valeur marginale d'une heure supplémentaire de temps de loisir au salaire net de l'individu.

### **8.2 Revenus des individus**

Comme il a été mentionné ci-dessus, la valeur du temps de transport dépend du salaire des individus. L'enquête origine-destination ne fournit pas les données traitant du salaire des individus, donc le recensement 2001 (statistique canada, 2001) a été utilisé pour trouver les salaires associés à chaque déplacement en tenant compte de la zone d'origine et en actualisant les valeurs trouvées pour obtenir des dollars de 2003. De plus, les taux d'imposition et de cotisations de l'année 2003 ont été utilisés dans les calculs du salaire net et des cotisations de l'employeur.

La valeur précise du revenu de chaque individu participant à l'enquête OD étant impossible à déterminer, les individus ont été séparés en 6 classes de revenus, exprimées dans le tableau 1.

*Tableau 1 : Classes de revenus*

Classe de revenu
0 à 19 999 \$
20 000 \$ à 24 999 \$
20 000 \$ à 29 999 \$
30 000 \$ à 34 999 \$
35 000 \$ à 39 999 \$
40 000 \$ et plus

### 8.2.1 Les contributions de l'employeur

Pour calculer la valeur du temps de déplacement pour motif « affaires », nous avons besoin des contributions de l'employeur aux divers programmes sociaux.

Le tableau suivant résume les coûts des divers programmes sociaux payés par les employeurs pour les différentes classes de revenus. Une valeur moyenne a été utilisée pour représenter chaque classe de revenu.

*Tableau 2 : Salaire brut et contributions de l'employeur*

Revenu moyen	RRQ	FFS	CNT	FDRCMO	CSST	AE	Valeur totale	Nb heures travaillées	Valeur horaire
10 635	353	372	9	106	205	234	11 915	1665	7.16
23 929	1 011	838	19	239	462	526	27 025	1665	16.23
29 247	1 274	1 024	23	292	564	643	33 069	1665	19.86
34 564	1 538	1 210	28	346	667	760	39 113	1665	23.49
39 350	1 775	1 377	31	394	759	819	44 506	1665	26.73
62 748	1 802	2 196	50	627	1 211	819	69 453	1665	41.71

RRQ : Régime des rentes du Québec

FFS : Fonds des services de santé

CNT : Commission des normes du travail

FDRCMO : Fonds de développement et de reconnaissance des compétences de la main-d'oeuvre

CSST : Commission de la santé et de la sécurité du travail

AE : Assurance-emploi

*Source : Compilation à partir du guide de l'employeur – Retenues à la source et cotisations 2003 (Ministère du Revenu du Québec, 2003)*

La colonne « valeur horaire » représente donc la valeur du temps de déplacement pour motif « affaires » selon la classe de revenu de l'individu.

## 8.2.2 Le salaire net

Pour calculer le salaire net, utilisé dans le calcul de la valeur du temps pour motif « autres », il faut retrancher du salaire brut les impôts, puis enlever la contribution de l'employé au RRQ, au RQAP et à l'assurance chômage. Idéalement, il faudrait aussi prendre en compte toutes les déductions d'impôts, mais puisque cette tâche est impossible, un taux moyen d'imposition totale à été utilisé pour chaque classe de revenu. Le tableau 3 calcule le salaire horaire net, avec un salaire moyen pour représenter chaque classe de revenu.

*Tableau 3 : Salaire net*

<b>Revenu moyen</b>	<b>Impôts combinés et contributions de l'employé (%)</b>	<b>Salaire net</b>	<b>Nb heures travaillées</b>	<b>Salaire horaire net</b>
10 635	7.0	9 891	1665	5.94
23 929	26.2	17 654	1665	10.60
29 247	26.8	21 408	1665	12.86
34 564	30.9	23 883	1665	14.34
39 350	35.9	25 232	1665	15.15
62 748	40.7	37 239	1665	22.37

*Source : Compilation à partir du guide de l'employeur – Retenues à la source et cotisations 2003 (Ministère du revenu du Québec, 2003) et de (Les Conseillers ADEC inc., 2009)*

La colonne « Salaire horaire net » correspond à la valeur du temps de déplacement pour motif « autres ».

Les valeurs du temps de « navettage » et du temps « étude » peuvent être déduites à partir de ces

deux valeurs de la façon mentionnée plus haut. Nous obtenons finalement les valeurs suivantes :

*Tableau 4 : Valeur du temps de transport pour motif navettage et études*

Classe de revenu	Navettage	Études
Moins de 19 999 \$	6.55	1.79
20 000 \$ à 24 999 \$	13.42	4.06
25 000 \$ à 29 999 \$	16.36	4.97
30 000 \$ à 34 999 \$	18.92	5.87
35 000 \$ à 39 999 \$	20.94	6.68
40 000 \$ et plus	32.04	10.43

Source : Calculs effectués avec les formules suivantes

Navettage : Moyenne entre les valeur de déplacement pour motif « Affaires » et « Autre »

Étude : Valeur du déplacement pour motif « Affaire » divisée par 4

## 8.3 Coûts généralisés de transport

Pour déterminer la réduction de la demande de transport à la suite de l'imposition d'un péage, il convient tout d'abord de déterminer le coût total du voyage du point de vue de l'individu, souvent appelé le coût généralisé de transport.

Ce coût comprend la valeur du temps de transport, les coûts d'amortissement de la voiture, les coûts d'entretien de la voiture et les coûts d'essence et le coût du stationnement. Le coût du stationnement est considéré nul dans cette étude, car ce coût varie énormément selon l'endroit et des statistiques fiables sont très difficiles à trouver dans ce domaine.

### 8.3.1 Coûts liés à la voiture

L'association canadienne des automobilistes publie chaque année une brochure détaillant le coût d'utilisation d'une automobile (Association Canadienne des Automobilistes, 2005). On y retrouve le coût de fonctionnement par kilomètre, incluant le carburant, l'entretien et les pneus, estimé à 0.1285 \$/km , ainsi que le coût annuel de propriété de la voiture, c'est-à-dire les coûts

d'assurance, les frais de financement, la dépréciation, l'immatriculation et le permis de conduire, estimé à 6 962 \$. Ces valeurs de 2005 peuvent être transformées en valeur de 2003 en appliquant le facteur d'inflation de .9588 (Banque du Canada – inflation), ce qui donne des coûts de fonctionnement de 0.1232 \$/km et des coûts de propriété de 6 675 \$.

Ainsi, si l'on connaît le kilométrage total parcouru par un individu dans une année, il est aisé de déterminer le coût moyen par kilomètre d'utilisation d'une voiture. L'enquête Origine-Destination (AMT, 2006) est utilisée pour déterminer le trajet d'un individu utilisant un pont. Puisque le péage sera actif uniquement pendant la période de pointe, les données relatives à la période de pointe sont utilisées. Cependant, puisque l'enquête O-D ne fournit pas de données pour la période de pointe de l'après-midi, l'hypothèse sera faite que les voyages sont les mêmes qu'à la période de pointe du matin, en inversant l'origine et la destination. Puisque l'enquête OD comprend plus de 35 000 répondants, un seul exemple illustratif sera présenté ici :

*Origine* : Boucherville

*Destination* : Montréal, quartier Rosemont

*Distance origine-destination* : 13.9 km

Coût de fonctionnement de la voiture pour un voyage aller-retour à 0.1232\$/km : 3.42\$

Il faut ajouter à ce montant les coûts fixes de la voiture. Les deux hypothèses suivantes sont effectuées :

- L'individu parcourt ce trajet aller-retour tous les jours ouvrables de l'année, c'est-à-dire 500 fois par année.
- L'individu effectue un total de 6000 km par année avec sa voiture dans d'autres trajets que celui-ci.

Ainsi, puisque l'individu parcourt au total 12 950 km par année, les coûts fixes par kilomètre sont de 6 675 \$ / 12 950 km = 0.515 \$/km, c'est-à-dire que le coût lié à la voiture pour un aller-retour de Montréal-Nord à Vaudreuil-Dorion est de 17.74 \$.

### **8.3.2 Coût du temps de transport**

Pour obtenir le coût généralisé de transport, il faut ajouter à ce montant la valeur du temps de transport.

Pour déterminer une valeur du temps le plus approprié possible, il faut connaître le lieu de résidence de l'individu. L'hypothèse est que l'individu habite dans la zone « Origine » de la période de pointe matinale, ce qui permet, à l'aide du recensement, d'estimer la classe de revenu de l'individu.

Ainsi, dans notre exemple, l'individu se situe dans la classe de revenu « 25 000 \$ à 29 999 \$ ». L'enquête O-D fournit le nombre de déplacements entre chaque paire d'origine destination, et ce, pour chaque motif. Ainsi, pour un motif de «étude», la valeur du temps de 4.97 \$/heure devra être utilisée, alors que si le motif est « navettage », la valeur de 16.36 \$/heure sera utilisée.

Finalement, il faut déterminer le temps de transport entre ces deux zones en période de pointe. Le site internet de Transport Québec (Transport Québec, 2009) fournit le temps de transport nécessaire lorsque les limites de vitesses sont respectées. Pour l'exemple choisi, ce temps est de 20 minutes. Cependant, les déplacements sont plus longs en période de pointe à cause de la congestion. On considère qu'il y a congestion lorsque les voitures vont à une vitesse inférieure à 60% (Les Conseillers ADEC inc., 2009) de la vitesse d'écoulement naturelle. On suppose donc que si le voyage prend moins de 33 minutes ( $20/0,6=33$ ), l'usager n'est pas en congestion. Enfin, le rapport sur la congestion à Montréal (Les Conseillers ADEC inc., 2009) fournit le nombre approximatif de minutes de retard attribuables à la congestion pour ce voyage, qui est estimé à 22.1 minutes le matin et 21.5 minutes pour le retour en après-midi, ce qui donne un voyage aller-retour d'une durée de 109.6 minutes.

Pour un voyage avec un motif « navettage », nous obtenons une valeur du temps de 29.88 \$, donc un coût généralisé de transport de  $29.88 \$ + 17.74 \$ = 47.62 \$$  pour chaque aller-retour.

## **8.4 La réduction de la demande**

Pour évaluer précisément le nombre d'individus procédant à un transfert modal à la suite de l'imposition d'un péage, il faudrait procéder par simulation, en prenant compte des différents services de transport en commun qui sont disponibles dans chaque secteur. Un tel logiciel de simulation a été développé par le groupe MADITUC de l'École Polytechnique de Montréal. Cependant, comme cette approche est impossible dans le cadre limité de ce rapport de recherche, une valeur moyenne d'élasticité de la demande par rapport au coût généralisé de transport sera

utilisée.

La littérature (Litman, 2009) tentant d'estimer cette élasticité donne des résultats très variés, se situant généralement entre -0.5 et -1.5. D'autres (Lee, 2000) estime la valeur de l'élasticité de -0.5 à -1.0 à court terme et de -1.0 à -2.0 à long terme. Cette différence entre le court terme et le long terme pourrait s'expliquer par le fait que les individus pourraient déménager en tenant compte du péage, ou qu'ils changeront à long terme le nombre de voitures possédées par le ménage. Toutefois, la littérature faisant la distinction entre le court et le long terme est plutôt rare, donc cette variation dans le temps sera ignorée. Certaines études (Booz Allen Hamilton, 2003) démontrent que l'élasticité peut varier avec le revenu des individus. Cet effet est capté ici par la valeur du temps, qui prend en compte le salaire de l'individu, donc une valeur unique de l'élasticité sera utilisée. Les résultats seront rapportés pour la valeur de -1 avec une analyse de sensibilité pour d'autres valeurs, c'est donc dire qu'une augmentation de 1% du coût généralisé de transport pour un individu diminuera en moyenne de 1% sa demande de transport.

Grâce à cette élasticité, au montant de péage et au coût généralisé de transport trouvé au chapitre 8.3 , il est possible de calculer la diminution de la demande de transport. La formule est la suivante :

Changement de la demande =  $E * P / C$  où

- E est l'élasticité, c'est-à-dire -1
- P est le montant du péage pour un aller-retour, c'est-à-dire 14 \$
- C représente le coût généralisé de transport pour un aller-retour, qui varie pour chaque individu selon son couple origine-destination, son revenu et son motif de déplacement.

Ainsi, pour donner un exemple, la demande des déplacements aller-retour de Boucherville au quartier Rosemont varierait de  $-1 * 14\$ / 47.62 \$^1 = -.2940$

En d'autres termes, le nombre de voyages pour le motif « navettage » entre ces deux secteurs diminuerait initialement de 29.40%. Cependant, puisque le nombre de voitures sur le réseau routier diminuera de façon significative après l'imposition d'un péage, le temps de transport sera amoindri à cause de la diminution de la congestion, ce qui incitera une partie de ceux qui avaient abandonné leur voiture à revenir à ce mode de transport.

---

1 La valeur de 47.62 \$ est celle calculée au chapitre précédent avec motif « navettage ».

Il est possible de calculer ce mouvement de « retour de balancier » pour l'intégrer aux calculs. Dans notre exemple représentatif, supposons que le temps nécessaire pour faire le trajet de Boucherville à Rosemont diminue de 6 minutes pour l'aller et de 6 minutes pour le retour à la suite de la réduction de la congestion découlant du péage. Ce total de douze minutes correspond, pour l'individu de motif « navettage », à 3.27 \$. Ce montant doit être soustrait du montant total de péage lorsqu'on calcule la diminution de la demande, car ce gain de temps contrebalance une partie du montant du péage. Le changement réel de la demande serait donc de  $-1 * (14 \$ - 3.27 \$) / 47.62 \$ = -2253$ , soit une diminution de 22.53 %, par opposition à une estimation initiale de 29.40 %. Il est possible de continuer ce raisonnement plus loin en calculant le « retour du retour de balancier ». En effet, puisque avec le mouvement de retour de balancier, moins de gens abandonnent les routes, au lieu d'avoir une diminution du temps de transport de 12 minutes, notre individu pourrait n'avoir qu'un gain de temps de 10 minutes, et il faudrait recalculer les estimations. Ce processus peut continuer indéfiniment, mais converge rapidement vers une valeur d'équilibre. Après seulement 2 itérations, le processus est stable et des calculs supplémentaires ne sont pas nécessaires.

En calculant cette diminution réelle pour chaque paire origine-destination et chaque motif de déplacement, on peut obtenir une réduction totale de la demande de transport dans la région de Montréal. On trouve que la demande globale est réduite de 5.62 %, c'est-à-dire que 60 288 voitures abandonnent les routes ou 120 576 voyages sont épargnés quand on considère l'aller-retour. Avec ces données, il est maintenant possible de procéder à l'analyse avantages coûts proprement dite.



## 9 L'analyse avantages coûts

Selon Mishan (Mishan E.J., 1976), la valeur nette d'un projet correspond à la différence de surplus des consommateurs à laquelle on additionne la différence de rente des producteurs.

On remarque tout d'abord que la rente des producteurs augmente d'un montant correspondant à la somme des péages récoltés. Cependant, le surplus du consommateur diminue du même montant, car les usagers devant payer ce péage ont une perte de surplus. Ces deux montants s'annulent, et le calcul net de la valeur du projet ne tient pas en compte les sommes récoltées dans le péage.

De l'augmentation de la rente des producteurs, il faut toutefois soustraire les coûts pour mettre en place le péage, c'est-à-dire

- Les coûts de construction
- Les coûts d'opération
- Le coût des transpondeurs à mettre dans les véhicules

À ces trois coûts s'ajoute un quatrième élément : la perte de surplus des anciens usagers des ponts.

Le surplus du consommateur, de son côté, augmente d'une valeur correspondant à la diminution du temps de transport à la suite de la diminution de la congestion. Cette augmentation de surplus correspond au seul avantage direct du projet.

Les autres avantages proviennent des externalités : La réduction du nombre d'accidents et la diminution de la pollution figurent dans la listes des externalités positives, alors que l'augmentation des subventions en transport en commun correspond à une externalité négative.

## 10 Les avantages

L'avantage de ce projet provient du gain de temps des automobilistes et des camionneurs à la suite de la réduction de la congestion. Il existe deux grands types de congestion automobile :

- La congestion récurrente : elle est causée par une demande de transport excédant l'offre, c'est-à-dire que le nombre de véhicules motorisés empruntant les routes est trop élevé par rapport à la capacité du réseau routier.
- La congestion incidente : elle est causée par les accidents ou les pannes.

### 10.1 La congestion récurrente

Les données concernant la congestion récurrente proviennent principalement de l'étude montréalaise sur la congestion (Les conseillers ADEC inc., 2009 et 2004). Dans ces études, on constate que de 1998 à 2003, le nombre de véhicules motorisés sur les routes en période de pointe du matin a augmenté de 8 %, alors que le nombre de minutes de retard moyen progressait de 35 %. Cette disproportion s'explique par le fait que le réseau routier était déjà saturé en 1998, donc l'ajout d'un nombre réduit de véhicules diminue considérablement la fluidité de l'ensemble des véhicules du réseau. On remarque que le ratio congestion/voiture est d'environ 4.38, ce qui signifie qu'en moyenne, entre 1998 et 2003, l'augmentation de 1 % du nombre de véhicules a fait progresser le temps de retard de 4.38 %.

Cette élasticité congestion/voiture sera utilisée pour prédire la réduction du temps de congestion à la suite de l'implantation d'un péage. Ainsi, comme il a été possible de calculer, au chapitre précédent, que la demande globale de transport diminuerait de 5.62 % à la suite de l'implantation d'un péage de 7 \$, avec cette élasticité on peut estimer que le temps de congestion serait réduit de  $5.62 \% \times 4.38 = 24.64 \%$

Puisque ce rapport se veut une première approximation des effets d'un péage, l'hypothèse est posée que cette réduction de congestion est uniforme sur tout le réseau routier. Il serait toutefois possible d'obtenir de meilleurs résultats en utilisant un logiciel de simulation pour déterminer les tronçons où la congestion est plus ou moins affectée par la densité de véhicule.

Avec cette hypothèse, les valeurs du temps et le temps de retard pour chaque paire d'origine-

destination, il est possible de déterminer l'avantage sur chaque trajet découlant de la réduction de la congestion récurrente. Pour l'exemple de Boucherville-Rosemont, on a un retard total de 43.6 minutes pour l'aller-retour. Si le temps de congestion diminue de 24.64 % de façon uniforme, on obtient une diminution du temps de retard de 10.74 minutes. Il faut noter que le gain de temps touchera tous les automobilistes, même ceux qui n'emploient pas un pont, car la diminution du nombre de véhicules sur les routes augmente la fluidité globale. En calculant ce gain pour chaque trajet, on peut calculer le gain de temps total pour les automobilistes.

Cet avantage correspond au total à 60 285 heures de retard par jour, c'est-à-dire 15 071 250 heures par année. Si on applique les différentes valeurs du temps sur chaque gain de temps, on obtient un gain de 1 083 979 \$ par jour ou 270 994 858 \$ par année pour les automobilistes.

L'enquête OD ne donne pas d'information sur les trajets des camions et des autobus. Il est donc impossible d'appliquer la même méthode de calcul pour obtenir le gain de temps des véhicules lourds.

On fait l'hypothèse que l'élasticité des camions par rapport au péage est de 0, c'est-à-dire qu'aucun camionneur et aucun chauffeur d'autobus ne va annuler son voyage à la suite de l'imposition du péage. Le seul gain aux véhicules lourds sera le gain de temps à la suite de la diminution de la congestion. Il est estimé (Les conseillers ADEC inc., 2009) que la perte de temps des camions a une valeur de 66 millions de dollars par année. Cette perte de temps prend en compte le salaire des camionneurs ainsi qu'une certaine valeur pour tenir compte de la perte de productivité du camion, qui pourrait être utilisé ailleurs s'il n'était pas retardé par la congestion, et le délai de livraison.

Pour les autobus, cette valeur est estimée à 78 millions de dollars par année, ce qui comprend la perte de temps subie par les usagers et par le chauffeur.

Comme le temps de congestion diminue de 24.64 %, on suppose que les coûts diminuent dans la même proportion. Cela représente donc un gain de

- 16.26 millions de dollars pour les camions
- 19.22 millions de dollars pour les autobus

Si on ajoute ces montants aux gains des automobilistes, on obtient un gain total de temps de 306 474 858 \$ par année.

Cependant, il faut prendre en compte la croissance de l'achalandage prévue pour la durée du projet. Selon le scénario envisagé par le MTQ (SMST, 2007), l'achalandage lors des périodes de pointe augmenterait de 0.739 % par année. Si on applique le ratio congestion/achalandage de 4.38 à ce nombre, on obtient une augmentation du retard moyen de 3.24 % par année. Cette augmentation du temps de retard peut paraître imposante, mais elle est de beaucoup inférieure à l'augmentation moyenne entre 1998 et 2003.

Pour faciliter les calculs, une hypothèse simplificatrice sera faite : on suppose que la diminution de la demande globale de transport attribuable au péage restera stable à 5.62 % tout au long du projet. Avec cette hypothèse, on peut calculer que le temps de retard épargné augmentera directement proportionnellement à la croissance du retard, c'est-à-dire que l'avantage augmentera de 3.24 % par année. À la fin du projet, l'avantage du gain de temps sera donc de 455.3 millions.

## **10.2 La congestion incidente**

La réduction de la congestion calculée au chapitre 10.1 fait référence à la congestion récurrente, c'est-à-dire à celle qui se produit à cause du nombre élevé de véhicules utilisant les routes. Cependant, il existe aussi une autre forme de congestion nommée incidente, c'est-à-dire la congestion causée par les accidents ou les véhicules en panne. Le Urban Mobility Report (Schrang and Lomax, 2009) estime cette congestion en multipliant la congestion récurrente par deux ratios propres à chaque ville : un ratio pour les autoroutes et un autre pour les routes locales. Ce ratio dépend de certaines caractéristiques des autoroutes locales, à la fréquence, à la gravité et à la distribution des accidents et plusieurs autres facteurs. Celui des routes locales est fixé à 1.1, tandis que celui pour les autoroutes varie entre 0.7 pour Los Angeles et 2.5 pour New-York, Pittsburgh et plusieurs autres villes. Ceci signifie que pour les routes locales, le coût de la congestion incidente correspond à 1.1 fois les coûts de la congestion récurrente tandis que pour les autoroutes, ce coût correspond jusqu'à 2.5 fois celui de la congestion récurrente. Si on fait la moyenne des ratios pour les villes américaines de taille comparable à Montréal, ce ratio pour les autoroutes est de 1.66.

Enfin, il est estimé (Les conseillers ADEC inc., 2009) que les coûts de la congestion récurrente sont à 52.5 % sur les autoroutes et à 47.5 % sur les routes locales. Avec ces deux données, on

peut déterminer la valeur de la congestion incidente. Selon les ratios de 1.1 et de 1.66 déterminés ci-dessus, l'avantage en temps épargné serait donc de  $306\,474\,858 \$ \times 0.525 \% \times 1.66 = 267\,092\,839 \$$  sur les autoroutes et  $306\,474\,858 \$ \times .475 \times 1.1 = 160\,133\,113 \$$  sur les routes locales, ce qui donne un avantage annuel total de 427 225 952 \$ pour la diminution du temps de retard causé par la congestion incidente.

Cependant, il faut mentionner que cette méthode de calcul a été développée dans l'objectif de pouvoir calculer facilement la valeur de la congestion incidente pour plusieurs villes et ne tient pas compte des particularités individuelles de chaque région. En particulier, le ratio de 1.66 n'est que la moyenne des villes comparables et n'est peut-être pas adapté au cas de Montréal. Pour éviter de donner un avantage indu au projet, un ratio de 1.1 sera plutôt utilisé pour les autoroutes comme pour les routes locales, ce qui mène à un avantage annuel de 337 122 343 \$. Cet avantage croît au même rythme que l'avantage attribuable à la congestion récurrente, c'est-à-dire qu'il augmente de 3.24 % par année.

## **11 Les coûts**

Les coûts de ce projet sont les coûts de construction et d'opération ainsi que la perte de surplus du consommateur pour les usagers des ponts. De plus, la technologie de péage retenue dans ce rapport nécessite d'installer un transpondeur dans plusieurs véhicules. La valeur de ces transpondeurs doit donc être ajoutée, car elle représente un coût pour la société. Tous les coûts énumérés dans ce chapitre doivent être libres de taxes et d'impôts, car ceux-ci représentent un transfert de richesse et non un réel coût économique.

La technologie de péage choisie est très récente et seulement quelques projets dans le monde l'utilisent jusqu'à maintenant. La plupart de ces projets sont de nature privée dont très peu de données sont disponibles sur les coûts d'investissement et d'opération, ou alors ce sont des projets de petite envergure et la comparaison avec un grand chantier comme celui de Montréal serait au mieux douteuse.

Les coûts énumérés seront basés en partie sur le projet « E-470 » au Colorado, sur lequel des données détaillées sont disponibles. Ce péage utilise depuis juillet 2009 la même technologie que celle mentionnée dans ce rapport, sans utiliser d'alternative de collecte manuelle. De plus, des données prévisionnelles sont fournies, ce qui permet de déterminer les coûts d'opération espérés pour un tel système.

Le système de péage de Londres, bien qu'utilisant une technologie basée uniquement sur la lecture automatique des plaques d'immatriculation, sera aussi abordé.

### **11.1 Les coûts d'opération**

Les coûts d'opération sont estimés à partir de ceux de l'E-470. Il faut d'abord mentionner que cette autoroute comporte 32 postes de péage sur des entrées ou des sorties d'autoroutes, et 5 postes de péage principaux, installés directement sur l'autoroute (E-470 Public Highway Authority, 2009), pour un total de 52 voies expresses de péage. Ces 52 voies supportent un volume annuel de 52 080 461 passages (E-470 Public Highway Authority, 2008). Par comparaison, Montréal

compte 14 ponts et 1 tunnel, pour un total de 78 voies<sup>2</sup> et un volume annuel d'environ 125 000 000 de véhicules pendant les périodes de péage.

Les coûts d'opération de l'E-470 de 2008 sont détaillés dans le tableau 5.

*Tableau 5 : Coûts d'opération de l'E-470*

	Coût Nominal	Coût social
Salaires pour les péages	3 730 400 \$	3 730 400 \$
Opération des péages	12 837 000 \$	12 464 727 \$
Finances (frais de carte de crédit et autres frais financiers)	4 567 700 \$	4 435 236 \$
Administration	871 100 \$	845 741 \$
Technologie informatique	949 400 \$	921 867 \$
Total	22 955 600 \$	22 289 888 \$

Source : (E-470 Public Highway Authority, 2009)

Le coût social de la main-d'oeuvre représente son coût d'opportunité. Le coût nominal cité dans le tableau 5 comprend déjà les cotisations patronales. Il faudrait cependant ajuster cette valeur avec le taux de chômage. Toutefois, comme les détails sur le nombre d'employés et le salaire horaire ne sont pas spécifiés et que ce salaire est celui d'un salaire à l'étranger, la formule classique (Jenkins et Kuo, 1978) ne peut pas être utilisée. L'hypothèse est faite que le taux de chômage dans ce domaine est très faible, et donc que le coût d'opportunité est près du coût nominal. Comme le montant est plutôt minime par rapport à l'ampleur du projet, cette hypothèse n'aura pas d'impact significatif sur les résultats.

Le coût social des autres catégories que le salaire représente le coût nominal, auquel on a enlevé les taxes de 2.9% au Colorado (Colorado Department of Revenue, 2009)

Les coûts de l'E-470 ne sont pas directement applicables au cas montréalais. Comme il en a été fait mention ci-dessus, les ponts de Montréal ont un achalandage 2.4 fois supérieur, et le nombre de voies de péage est 1.5 fois supérieur. L'hypothèse sera donc que les coûts d'opération seront  $(2.4+1.5)/2 = 1.95$  fois plus élevés à Montréal. Implicitement, cette hypothèse suppose que la

<sup>2</sup> Voir l'annexe 1 pour une liste détaillée.

moitié des coûts d'opération provient du nombre de postes de péage, pour payer l'entretien, l'électricité, etc., et que la seconde moitié des coût provient du nombre d'usagers passant dans le péage, pour payer les frais de transactions, les frais d'envoi d'une facture par la poste, etc.

Finalement, ces coûts pour l'E-470 datent de 2008, c'est-à-dire avant que l'autoroute soit complètement convertie en péage automatique. Les prédictions budgétaires (E-470 Public Highway Authority, 2008) donne une estimation globale des coûts d'opération espérés en 2010, qui sont de 6% inférieurs à ceux de 2008. Les coûts nominaux en 2010 devraient donc être de 21 578 264\$ (en US\$ de 2010), ce qui représente des coûts sociaux de 20 952 494 \$ et donc des coûts de 19 765 762 \$ en dollars canadiens de 2003 en appliquant le taux de change de 2009 de 1,0837 et une inflation estimée en 2010 de 2%.

Lorsqu'on applique le facteur de 1.95 pour tenir compte de la taille plus imposante du projet montréalais, on trouve des coûts d'opération annuels de 38 543 236 \$.

Si considère la croissance de l'achalandage, on doit calculer la croissance des coûts d'opération. Puisqu'on a posé l'hypothèse que  $\frac{1}{2}$  des coûts provenait de l'achalandage, une augmentation annuelle de l'achalandage de .739 % devrait faire augmenter les coûts d'opération de 0.370 % annuellement, ce qui mène à des coûts d'opération de 40 679 495 \$ à la dernière année du projet.

## **11.2 Les coûts de construction**

Les coûts de construction de l'E-470 ne sont pas disponibles. Cette autoroute possédait des péages manuels et elle a été améliorée pour un système automatique, donc les coûts disponibles sont ceux des rénovations, qui ne donnent pas une bonne estimation des coûts de construction. Les coûts de construction du péage de l'autoroute 407 à Toronto, qui utilise la même technologie que celle mentionnée dans ce rapport, ne sont pas disponibles non plus, car ce projet est privé et plusieurs données sont confidentielles. Les coûts de construction seront donc basés sur ceux de Londres.

Les coûts de construction de ce projet sont de 180 millions de livres anglaises de 2000. Cependant, le projet de Londres est beaucoup plus imposant, avec 174 points d'entrée et de sortie (Dosso, 2006), pour un total d'environ 350 voies de péage. Ceci représente environ 0,51 million de livres par voie, donc pour le projet de Montréal, un total de  $0,51 * 78 = 39.78$  millions de livres anglaises. Si on convertit cette somme en dollars canadiens de 2003, on obtient, avec un



taux de change de 2.27 (Banque du Canada - taux de change) et une inflation de 1,0733 (Banque du Canada - inflation) , un montant de  $39.78 * 2.27 * 1.0733 = 96.9$  millions de dollars. Ces coûts sont déjà des coûts économiques (Dosso, 2006), donc les calculs du coût social n'a pas à être effectué.

### **11.3 Le coût des transpondeurs à installer dans les véhicules**

La technologie retenue pour ce projet prévoit que les usagers réguliers possèdent un transpondeur dans leur véhicule. Pour inciter les usagers à utiliser le transpondeur, qui est moins coûteux à utiliser à chaque passage que le système de caméras, les autorités qui gèrent les péages offrent généralement un rabais applicable sur chaque transaction. Ces transpondeurs représentent un coût pour la société, qui est défrayé par chaque usager. Il faut donc déterminer le nombre d'unités attendues qui seront vendues ainsi que le coût par unité.

Pour l'E-470, le nombre de transpondeurs en circulation était de 463 000 en 2008, pour un achalandage annuel total de 52 080 461, ce qui indique un ratio de un transpondeur pour 112.5 passages. Si on applique le même ratio à Montréal, on obtient un total de  $125\,000\,000 / 112.5 = 1\,111\,111$  transpondeurs. Le coût social de chaque transpondeur est difficile à déterminer. Les autorités qui gèrent les transports offrent souvent un prix faible sur ces produits, pour inciter encore davantage les usagers à les utiliser. Selon le livre de Gillen et Levinson (Gillen et Levinson, 2002), ces transpondeurs coûtent 30\$ à produire, ce qui donne un total de 33 333 330\$ en argent US de 2002, donc si on considère une inflation de 2.6 % (Banque du Canada - inflation) et un taux de change de 1.52 en 2002 (Banque du Canada - taux de change), on obtient une valeur de 52 325 995 en dollars canadiens de 2003.

Avec l'augmentation de l'achalandage, de plus en plus de gens devraient acheter un transpondeur. On considère que puisque l'achalandage augmente de 0.739 % par année, la valeur des transpondeurs vendus à chaque année devrait être de  $0.00739 * 52\,325\,995 \$ = 386\,689 \$$ .

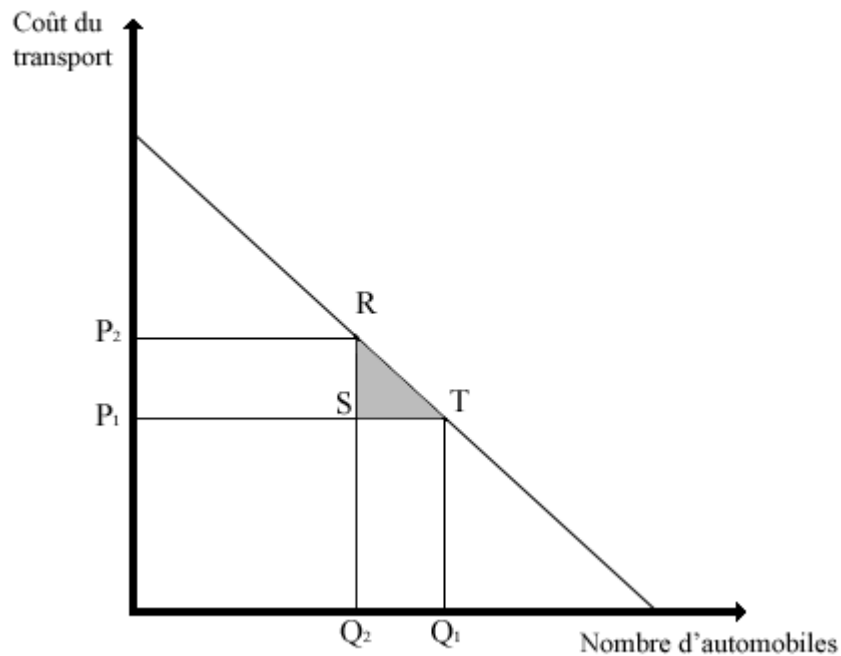
### **11.4 La perte de surplus des usagers des ponts**

L'introduction d'un péage sur les ponts entraînera un certain mécontentement des usagers des

ponts, qui percevront ce péage comme une augmentation de leur coûts de déplacement. Ce mécontentement se reflète dans la perte de surplus du consommateur. Selon leur évaluation de la valeur du temps, certains usagers vont changer de mode de transport, annuler ou changer l'heure de leur voyage ou continueront à utiliser le pont malgré le péage. Pour tenir compte de la valeur économique du pont, il faut considérer la perte de surplus du consommateur comme un coût économique.

De façon plus concrète, le péage correspond à une augmentation du coût généralisé du transport ayant comme substitut imparfait le transport en commun ou le covoiturage. La demande a une pente négative et le prix augmente de  $P_1$  à  $P_2$  tel qu'on peut le voir dans la figure 3.

*Figure 3 : Perte de surplus du consommateur en fonction du prix*

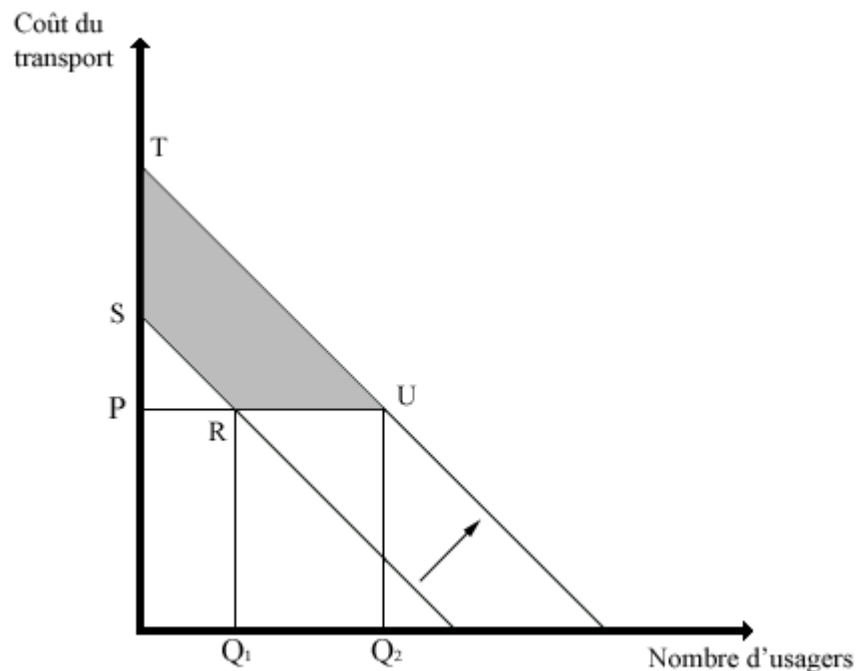


Le prix  $P_1$  correspond au coût généralisé de transport qui est propre à chaque individu, et le prix  $P_2$  correspond à ce coût auquel on a ajouté le péage de 14\$ pour un aller-retour. À la suite de l'augmentation du prix, le nombre d'usagers des ponts diminue de  $Q_1$  à  $Q_2$ . La réduction du surplus du consommateur correspond donc au trapézoïde délimité par  $P_1P_2RT$ . On remarque que ce trapézoïde est divisée en deux parties : le rectangle  $P_1P_2RS$  et le triangle  $SRT$ . Le rectangle correspond à la perte de surplus de ceux qui continuent à utiliser le pont après l'implantation d'un

péage. Cependant, leur perte de surplus causée par le péage est exactement équivalente à l'augmentation de la rente des promoteurs du projet tel que mentionné au chapitre 9 . Le triangle, quant à lui, représente la perte de surplus de ceux qui ont décidé de changer de mode de transport ou d'annuler leur voyage. La différence nette est donc une diminution de SRT.

Notons qu'à la suite de l'implantation du péage, la demande pour le transport en commun augmentera de  $Q_1$  à  $Q_2$  comme dans la figure 4

*Figure 4 : Demande de transport en commun*



Cependant, la zone délimitée par RSTU ne correspond pas à une augmentation du surplus des consommateurs, tel qu'on pourrait être porté à croire. Sous les hypothèses où le prix du transport en commun ne change pas et le revenu monétaire est constant, la mesure de la différence du surplus du consommateur ne fait pas appel à RSTU (Martin, 2008).

Finalement, pour calculer la diminution du surplus (RST dans la figure 3), nous n'avons qu'à

multiplier la diminution de la demande de transport, c'est-à-dire  $(Q_1 - Q_2)$ , au prix du péage  $(P_2 - P_1)$  et à diviser par 2.

Ici, la diminution de la demande de transport est de 60 288 voitures, avec un taux d'occupation moyen de 1.26 (Agence métropolitaine de transport, 2003), ce qui signifie que 75 962 individus changent de mode de transport. Comme le prix de leur péage est 14 \$ pour l'aller-retour, leur perte de surplus est  $75\,962 * 14 \$ / 2 = 531\,741 \$$  par jour, ou 132 935 250 \$ par année. Ce montant augmente directement avec l'augmentation de l'achalandage, donc on considère une croissance de 0.739 % par année.

## **12 Les externalités**

### **12.1 La réduction des accidents**

À la suite de la diminution de l'achalandage des routes, il est raisonnable de s'attendre à une diminution du nombre d'accidents routiers. Puisque les accidents ont un impact économique négatif, il est important de calculer la valeur des accidents évités.

Une étude de Marc Gaudry (Gaudry, 1994) suggère qu'il existe une relation entre le nombre de kilomètres parcourus et le nombre d'accidents. Selon cette étude, il y aurait en moyenne 1 accident pour chaque 386 692 kilomètres parcourus. De plus, les données de la SAAQ (Société de l'assurance automobile du Québec, 2007) donnent la probabilité de chaque type d'accident : environ 0.4% d'accidents mortels, 1,6% d'accidents avec blessés graves, 22% avec blessures légères et 76% avec uniquement des dommages matériels.

Ainsi, puisque avec le péage, on évite 658 169 242 kilomètres par année, on évite :

- 6,58 accidents mortels
- 27,17 accidents avec blessures graves
- 379,23 accidents avec blessures légères
- 1 289,07 accidents avec dommages matériels seulement

Pour les accidents matériels, il est aisé d'en déterminer la valeur avec les remboursements d'assurances remises aux accidentés. Cependant, pour les accidents impliquant des blessures ou des décès, deux techniques sont généralement utilisées : la méthode du capital humain et la méthode de la disposition à payer. La première se base sur l'hypothèse que la valeur d'une vie humaine représente la production perdue suite au décès de l'individu, à laquelle on soustrait la valeur de la consommation potentielle qui aurait été effectuée par l'individu. La seconde méthode tente de déterminer la valeur d'une vie en calculant la somme que la société est prête à payer pour éviter un décès.

Finalement, le guide de l'analyse avantages-coûts des projets publics en transport (Ferland, 2008) nous donne la valeur de chaque accident selon les deux méthodes de calcul. Le guide

recommande d'utiliser la méthode de la disposition à payer, et de faire une analyse de sensibilité en utilisant la méthode du capital humain, c'est donc ce qui sera fait ici. Les chiffres donnés par le guide se retrouvent dans le tableau 6.

*Tableau 6 : Coût moyen des accidents selon la gravité*

	Méthode de la disposition à payer	Méthode du capital humain
Mortels	3 467 055 \$	553 477 \$
Avec blessés graves	521 653 \$	150 546 \$
Avec blessés légers	67 910 \$	18 550 \$
Avec dommages matériels seulement	11 562 \$	11 562 \$

Source : (Ferland, 2007) actualisé pour obtenir des valeurs de 2003

On peut donc calculer la valeur de la réduction des accidents :

$6,58 * 3\,467\,055 \$ + 27,17 * 521\,653 \$ + 379,23 * 67\,910 \$ + 1\,289,07 * 11\,562 \$ = 77\,653\,009 \$$  par année.

Comme, sous l'hypothèse de Marc Gaudry, le nombre d'accidents augmente de façon directement proportionnelle avec le nombre de kilomètres parcourus, cette valeur augmentera au même rythme que l'achalandage, c'est-à-dire de 0.739 % par année.

## 12.2 La réduction de la pollution

Il est prévu que l'implantation d'un péage diminue de façon significative la pollution automobile. Cette réduction de la pollution provient de deux sources : tout d'abord, il y a les automobilistes qui abandonnent leur voiture, ce qui mène évidemment à une diminution de la pollution dans la grande région de Montréal. Ensuite, il y a une diminution de la pollution causée par la congestion. En effet, les voitures dans les zones congestionnées peuvent se déplacer très lentement, ce qui génère une pollution additionnelle (voir le tableau 8) à cause de leur vitesse réduite.

Les polluants sont souvent séparés en deux catégories : les gaz à effet de serre et les polluants

atmosphériques. Les polluants atmosphériques émis par les véhicules motorisés sur lesquels des données sont disponibles sont :

- CO : Monoxyde de Carbone
- HC : Hydrocarbures
- NOx : Oxydes d'azote
- SOx : Oxydes de soufre
- PM : Particules fines

Ces polluants provoquent divers dommages sur la santé et entraînent donc un coût pour la société.

Les gaz à effet de serre ont plutôt des conséquences néfastes à long terme comme le réchauffement de la planète. Les gaz à effet de serre émis par les véhicules sont :

- CO<sub>2</sub> : Gaz carbonique
- CH<sub>4</sub> : Méthane
- N<sub>2</sub>O : Protoxyde d'azote

Comme ces gaz ont tous un effet similaire sur l'environnement, ils sont souvent réunis, en calculant des équivalents, sous l'étiquette CO<sub>2</sub>. Plusieurs études ont tenté de déterminer le coût social de la pollution, avec des résultats souvent très différents. Le tableau 7 résume les coûts pour une tonne de chacun des polluants selon Litman (Litman, 1995), qui compile les valeurs médianes des polluants provenant de 37 rapports de recherches.

*Tableau 7 : Valeur de la pollution*

	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NOx	SOx	PM
Valeur d'une tonne métrique (\$ 2003)	35,31 \$	1 601 \$	5 825 \$	7 430 \$	3 165 \$	4 406 \$

Source : (Litman, 1995) actualisé pour des valeurs de 2003

*Tableau 8 : Taux moyen d'émission de polluants pour un véhicule léger*

Vitesse (km/h)	GES (en équiv. CO <sub>2</sub> ) (grammes/km)	CO (grammes/km)	HC (grammes/km)	NOx (grammes/km)	SOx (grammes/km)	PM (grammes/km)
5	914	22,797	1,135	1,027	0,004	0,025
10	458	12,395	0,659	0,824	0,004	0,025
15	350	8,784	0,461	0,669	0,004	0,025
20	289	7,171	0,352	0,567	0,004	0,025
25	256	6,323	0,289	0,511	0,004	0,025
30	235	6,059	0,264	0,517	0,004	0,025
35	222	5,870	0,245	0,522	0,004	0,025
40	211	5,727	0,232	0,525	0,004	0,025
45	202	5,614	0,220	0,528	0,004	0,025
50	193	5,552	0,210	0,530	0,004	0,025
55	185	5,551	0,198	0,531	0,004	0,025
60	183	5,693	0,191	0,535	0,004	0,025
65	180	5,869	0,186	0,541	0,004	0,025
70	176	6,060	0,181	0,548	0,004	0,025
75	174	6,249	0,177	0,556	0,004	0,025
80	172	6,435	0,173	0,563	0,004	0,025
85	174	6,634	0,169	0,573	0,004	0,025
90	176	6,850	0,166	0,583	0,004	0,025
95	178	7,122	0,167	0,594	0,004	0,025
100	178	7,398	0,168	0,605	0,004	0,025
105	182	7,644	0,169	0,614	0,004	0,025

Source : (Ferland, 2007)

Avec ces deux tableaux, il est possible de calculer la valeur des émissions polluantes émises dans la grande région de Montréal. Les seules données manquantes sont les vitesses des voitures lors de chaque partie de leur déplacements. Ces vitesses ont été estimées à l'aide des logiciels de simulation MORTREM03 et MOBILE6C, pour obtenir la valeur estimée de la pollution pour



chaque déplacement de la matrice Origine-Destination. Ainsi, il est possible de déterminer la valeur de pollution épargnée pour chaque déplacement annulé.

Par cette méthode, on trouve qu'à chaque année, on épargne :

- 191 989.5 tonnes de gaz à effet de serre
- 3 969.2 tonnes de CO
- 196.3 tonnes de HC
- 274.4 tonnes de NOx
- 2.5 tonnes de SOx
- 10.6 tonnes de PM

En utilisant ensuite les valeurs du tableau 7, on trouve une économie annuelle de 16 371 154 \$.

La seconde source de pollution est plus subtile. Elle entre en jeu du fait que les moteurs à combustion sont moins efficaces lorsqu'ils fonctionnent à très bas régime, comme lors d'un bouchon de circulation, et produisent plus de matières polluantes. Pour avoir une idée précise de l'économie de pollution, il faudrait simuler à nouveau tous les déplacements modifiés par le péage avec les logiciels de simulation. Il est cependant possible de trouver une estimation de cette valeur : l'étude sur la congestion montréalaise (Les conseillers ADEC inc.) indique la valeur supplémentaire de la pollution attribuable directement à la congestion. Cette valeur est estimée à 23,1 millions de dollars, c'est-à-dire 8.3 millions de dollars pour les gaz à effet de serre et 15 millions pour les autres polluants.

Comme il a été calculé au chapitre 10.1 , la congestion devrait diminuer de 24.54 % suite au péage, cette fraction de la pollution de congestion devrait être épargnée, c'est-à-dire 5 690 798 \$ par année. Cette valeur, contrairement à la pollution sur les kilomètres épargnés, augmente de façon proportionnelle à la congestion. Comme il a été déterminé plus tôt, la congestion augmente 4.38 fois plus rapidement que l'achalandage. Cette valeur devrait croître de 3.24% par année.

## **12.3 Le coût supplémentaire en transport en commun**

En incitant les gens à abandonner leur voiture avec un péage, plusieurs vont se tourner vers un

mode de transport alternatif, en particulier les transports en commun. Le consommateur qui fait le choix de changer de mode de transport fait le calcul entre ses dépenses avec l'automobile et celles faites avec le transport en commun. Sa perte de surplus a été comptabilisé (voir la section 11.4 ) et les frais de transport en commun que le consommateur paie sont implicitement inclus dans le calcul. Cependant, les coûts d'utilisation du transport en commun ne représentent qu'une fraction du coût réel du voyage, car ce mode de transport est fortement subventionné. Il convient donc de trouver le coût marginal réel pour la société d'ajouter un usager dans le système de transport en commun, ce qui correspond à la part de la subvention dans le coût du déplacement.

Les agences organisatrices de transports sont subventionnées à des niveaux très variables. Pour donner quelques exemples, le budget d'opération de l'Agence Métropolitaine de Transport, qui exploite les trains de banlieues et certains autobus express, est subventionné à 53 % (Agence Métropolitaine de Transport, 2008). Celui de la Société de Transport de Montréal était subventionné à 52.7 % en 2007 (Société de Transport de Montréal, 2009). D'autres sont subventionnés de façon plus importante, comme la Société de Transport de Laval qui atteint un niveau de subvention de 70 % (Société de Transport de Laval, 2009) et le Réseau de Transport de Longueuil, qui est subventionné à 59.3 % (Réseau de Transport de Longueuil, 2008).

En général on suppose que le taux de subvention atteint une moyenne de 60 % dans les diverses agences organisatrices de transports. Ainsi, comme on connaît le coût d'un laisser passer de transport en commun pour effectuer les divers trajets parcourus par les usagers, on peut évaluer le coût du transport en commun pour la société.

Le coût de ces passes mensuelles varie entre 109 \$ et 218 \$ (Agence métropolitaine de transport, 2009) en dollars de 2009 par mois pour les trajets susceptibles d'emprunter un pont. On suppose ici que les individus peuvent vouloir emprunter un train de banlieue, donc un laisser passe de type « TRAM » est nécessaire. Comme le transport est subventionné à 60 %, le coût mensuel pour la société est entre  $109 \$ * 0.60 / 0.40 = 163 \$$  et  $218 * 0.60 / 0.40 = 327 \$$ .

Les hypothèses effectuées sont les suivantes :

- 90 % des individus qui abandonnent leur voiture suite au péage utilisent le transport en commun. Les autres 10 % vont faire du covoiturage ou vont simplement annuler leur déplacement.

- Les nouveaux utilisateurs achètent la TRAM nécessaire pour faire le transport entre leur zone origine et leur zone destination de la matrice origine-destination.

Avec ces deux hypothèses, il est possible de calculer le nombre de TRAM supplémentaires vendues ainsi que le coût pour la société qui y est associée.

En calculant ces valeurs pour chacun des 60 288 usagers qui abandonnent leur voiture, on trouve que le coût annuel que la société débourse pour soutenir les frais d'opération en transport en commun sont de 120 610 779 \$. Si on transforme ce montant en dollars de 2003, on obtient 107 403 899 \$ lorsqu'on considère une inflation de 0.8905 (Banque du Canada – inflation, 2009). Ce coût devrait croître à la même vitesse que l'achalandage, c'est-à-dire de 0.739 % par année.

Ces coûts couvrent seulement les coûts d'exploitation du transport en commun. Toutefois, pour accueillir le nombre imposants d'usagers qui affluera vers le réseau de transport en commun, il faudra investir en immobilisations. Ces immobilisations sont généralement subventionnées à un niveau entre 50 % et 100 %, selon le type d'équipement acheté (Direction du transport terrestre des personnes, 2008).

Tenter de calculer les coûts d'investissement nécessaires est très difficile. Toutefois, pour donner une indication, il est utile de mentionner que la valeur des autobus achetés par la STM en 2008 était de 469 700 \$ (Info STM, 2008), c'est-à-dire 417 188 \$ en dollars de 2003 et ont une capacité d'environ 80 personnes (STM, 2009).

Si, pour déplacer les 60 000 usagers qui abandonnent leur voiture, il fallait 1 000 autobus supplémentaires, la facture totale serait de 417 188 000 \$, en supposant qu'étant donné la nature « spéciale » du projet, le niveau de subvention atteindrait possiblement 100 %. En comptabilisant les hangars nécessaires pour entreposer ces autobus, la campagne de recrutement pour trouver le personnel nécessaire pour opérer ces autobus et la pollution émise par ces autobus, on peut supposer que ce montant peut grimper à 700 000 000 \$.

Toutes ces données sont très incertaines : le montant pourrait varier énormément selon les besoins en transports en commun, et cette valeur donne simplement un ordre de grandeur.

## **13 La valeur résiduelle**

Selon le programme d'aide gouvernementale au transport collectif des personnes (Direction du transport terrestre des personnes, 2008), la durée de vie de l'équipement technologique tel que celui utilisé dans les postes de péage est de 15 ans, ce qui correspond à l'horizon du projet lorsqu'on considère 1 an de construction. La valeur résiduelle est donc nulle.

Cependant, on retire une valeur résiduelle des investissements en transport en commun. En effet, les autobus ont une durée de vie estimée de 16 ans. Si on utilise une dépréciation linéaire comme il est recommandé de faire dans le guide employé par le MTQ (Direction du transport terrestre des personnes, 2008), la valeur résiduelle correspondrait à 6.25 % des investissements. Comme la valeur des autobus était estimée à 417 188 000 \$, la valeur de revente serait de 26 074 250 \$ en 2019, c'est-à-dire une valeur de 5 368 457 \$ lorsqu'on actualise ce montant.

## **14 La VAN**

La valeur actualisée nette du projet est la somme des avantages, auxquels on soustrait les coûts et on ajoute les externalités.

Les valeurs, en incluant la croissance prévue pour chaque élément, l'année de référence de 2003, un horizon de 16 ans et un taux d'actualisation de 10 %, sont les suivantes :

Avantages :

Valeur du temps épargné, congestion récurrente : 2 623 580 426 \$

Valeur du temps épargné, congestion incidente : 2 885 938 468 \$

Avantages totaux : **5 509 518 894 \$**

Coûts :

Coûts de construction : 96 900 000 \$

Opération : 281 687 731 \$

Transpondeurs : 55 089 654 \$

Perte de surplus : 992 997 300 \$

Coûts totaux : **1 426 674 685 \$**

Externalités :

Accidents évités : 580 047 350 \$

Pollution évitée : 171 005 067 \$

Coûts pour l'opération du transport en commun : - 900 930 480 \$

Coûts d'investissement en transport en commun : - 700 000 000 \$

Externalités totales : **- 849 878 062 \$**

Valeur résiduelle

Valeur résiduelle des autobus : **5 368 457 \$**

**VAN : 3 238 334 603 \$**

La VAN est positive et se chiffre à plus de trois milliards de dollars, ce qui en fait un projet économiquement exceptionnel. Les entrées et sorties d'argent plus détaillées sont présentés dans l'annexe 2.

## **15 Analyse de sensibilité**

Plusieurs hypothèses ont été employées tout au long de ce rapport. De plus, d'autres données proviennent de plusieurs sources et peuvent varier d'un auteur à un autre. Il est donc important de faire fluctuer ces variables incertaines pour voir si la rentabilité économique du projet en est affectée. Comme il est impossible de faire cet exercice pour toutes les variables présentes dans le projet, seulement quelques-unes seront abordées.

### **15.1 La valeur de la vie**

Tel que mentionné au chapitre 12.1 , il existe deux grandes méthodes pour calculer la valeur des accidents : celle de la disposition à payer et celle du capital humain. En changeant de méthode, on peut évaluer la sensibilité du projet à la valeur de la vie, qui varie énormément d'un auteur à l'autre.

Avec la méthode de la disposition à payer, la valeur des accidents évités se chiffrait à 77 653 009 \$, pour une valeur actualisée de 580 047 350 \$. Si on emploie l'autre méthode, on obtient une valeur annuelle de 29 672 608 \$, ce qui donne une valeur actualisée de 212 646 499 \$ et réduit la VAN à 2 879 933 752 \$.

La valeur actualisée nette reste très positive, donc la valeur de la vie n'est pas une variable capitale pour la rentabilité du projet.

### **15.2 L'élasticité de la demande**

La valeur de l'élasticité de la demande de transport par rapport au coût généralisé de transport se base sur un article (Litman, 2009) qui fait un survol de la littérature. Les auteurs analysés par Litman rapportent des valeurs très variées. En faisant fluctuer cette variable, on altère le nombre de personnes abandonnant leur voiture. Ce faisant, on fait varier la diminution de la congestion, puisque celle-ci dépend du nombre de véhicules sur les routes. Si la diminution de la congestion change, tous les gains de temps sont affectés. L'élasticité a donc une importance capitale dans

cette étude. L'élasticité de base qui a été considérée est de -1. Le tableau montre la variation de la VAN avec l'élasticité.

*Tableau 9 : Variation de la VAN avec l'élasticité*

Élasticité	VAN
0.5	1 184 229 124 \$
0.6	1 617 239 711 \$
0.7	2 039 540 190 \$
0.8	2 450 747 613 \$
0.9	2 850 475 654 \$
<b>1.0</b>	<b>3 238 334 603 \$</b>
1.1	3 613 931 373 \$
1.2	3 976 869 492 \$
1.3	4 326 749 111 \$
1.4	4 663 166 998 \$
1.5	4 985 716 542 \$

Source : Compilation manuelle

Pour obtenir une VAN de 0, l'élasticité doit être de 0.24.

On remarque que plus l'élasticité est basse, moins le projet est rentable. Ce phénomène est présent, car une élasticité faible donnera une faible portée au projet, puisque les individus ne seront en quelque sorte presque pas affectés par le péage. Au contraire, lorsque l'élasticité est élevée, une très grande quantité de gens abandonnent leur voiture, ce qui donne une diminution de congestion considérable, en plus de donner des externalités positives sur la pollution et les accidents.

Il faut cependant mentionner que si l'élasticité est élevée, les coûts augmenteront aussi, en particulier la perte de surplus et les coûts en transport en commun, mais cette augmentation de coût est trop faible pour compenser le gain de temps des automobilistes.



### 15.3 Le taux d'actualisation

Le taux d'actualisation est aussi une variable importante. La plupart des investissements, comme les postes de péage, les transpondeurs et les investissements en transport en commun sont effectués au début du projet, alors que les bénéfices arrivent graduellement tout au long de l'horizon. Un taux d'actualisation élevé va pénaliser le projet, alors qu'un faible taux augmentera la valeur des bénéfices futurs, donc augmentera la VAN du projet. Le taux utilisé pour cette étude est de 10 %. Cependant, plusieurs auteurs récents (Montmarquette et Scott, 2007) suggèrent d'abaisser ce taux jusqu'à 6 %.

En faisant baisser le taux d'actualisation jusqu'à cette valeur, on obtient une VAN de 4 712 291 762 \$, ce qui représente une amélioration de la rentabilité de 46 %.

### 15.4 Les coûts d'opération et de construction

Les coûts d'exploitation et de construction sont basés sur des projets effectués dans d'autres pays, c'est-à-dire les États-Unis et l'Angleterre. Il peut toutefois y avoir de fortes variations de prix entre les différents pays qui rendent cette comparaison caduque. Le tableau 10 montre l'effet de l'augmentation de ces coûts par des facteurs de 2,3,4 et 5.

*Tableau 10 : Sensibilité de la VAN aux coûts de construction et d'opération*

Facteur de multiplication	VAN
1	3 238 334 603 \$
2	2 859 746 872 \$
3	2 481 159 141 \$
4	2 102 571 409 \$
5	1 723 983 678 \$

Source : Compilation manuelle

La VAN reste positive même lorsque ces coûts sont multipliés par 5, ce qui signifierait des coûts de construction de plus de 350 000 000 \$. Ces coûts ont donc une influence assez faible sur la

VAN.

## 15.5 Coût d'opération des véhicules

Les valeurs du coût d'opération et de propriété de véhicules proviennent de l'association canadienne des automobilistes, qui supposent que les usagers possèdent une voiture neuve avec une assurance tous risques et procèdent à un entretien rigoureux de leur véhicule. Toutefois, des véhicules de plus de 20 ans voyagent encore sur les routes, dont la dépréciation annuelle est près de 0, et plusieurs individus utilisent de vieux pneus pour se déplacer et omettent d'entretenir leur voiture régulièrement ce qui, du moins à court terme, peut faire diminuer le coût d'utilisation d'un véhicule. En faisant diminuer les coûts d'opération et de propriété des véhicules, nous serons en mesure de constater l'effet sur la VAN.

*Tableau 11 : Sensibilité de la VAN aux coûts d'opération et de propriété des véhicules*

Facteur multiplicatif	VAN
1	3 238 334 603 \$
0.85	3 495 589 311 \$
0.7	3 792 691 989 \$
0.55	4 142 517 080 \$

Source : Compilation manuelle

Comme on peut le voir dans le tableau 11, la VAN augmente lorsque le coût d'opération des véhicules diminue. Ce résultat peut sembler contre-intuitif à première vue, mais l'explication est simple : lorsque le coût d'opération diminue, le coût généralisé du transport diminue. En ayant un coût de transport plus faible, le péage représente une plus grosse fraction du prix du transport, et comme l'élasticité de la demande de transport reste la même, cela signifie que plus d'individus vont abandonner leur voiture.

## **15.6 L'année de référence**

L'année de commencement du projet a été fixée à 2003 pour concorder avec les données les plus récentes sur la congestion et l'achalandage. Toutefois, il serait intéressant de voir si le projet reste rentable s'il commençait en 2009. Faire une étude précise à ce sujet comporterait beaucoup de spéculation sur l'évolution de la congestion dans les 6 dernières années, mais des tendances peuvent tout de même être observées. Dans l'annexe 2, on observe que la croissance des avantages est supérieure à la croissance des coûts : en effet, lorsque l'achalandage augmente de 1 %, la plupart des coûts restent stables ou augmentent légèrement, alors que le gain de temps, c'est-à-dire l'avantage principal, augmente beaucoup plus rapidement. Ce phénomène est attribuable à la nature exponentielle de la congestion : en ajoutant 1 % d'achalandage, la congestion augmente de plus de 1 %. Par conséquent, on peut conclure qu'avec une année de base plus récente, le projet aurait une VAN au moins égale ou supérieure à celle de 2003.

## **15.7 Montant du péage**

La dernière variable analysée sera le montant du péage. Cette variable est très importante, autant pour la rentabilité du projet que pour l'acceptation publique du projet. Avec une valeur de péage de 7\$, le projet a un gros impact et un fort pourcentage des gens vont abandonner leur voiture, mais le public risque d'être mécontent de payer une si grosse somme. L'effet du montant du péage est exprimé dans le tableau suivant :

*Tableau 12 : Sensibilité de la VAN au montant du péage*

Péage (en \$ Canadien)	VAN
1	-300 507 392 \$
2	459 295 706 \$
3	1 151 100 364 \$
5	2 330 714 362 \$
6	2 818 523 702 \$
7	3 238 334 603 \$
9	3 873 961 088 \$
11	4 237 593 815 \$
13	4 329 232 784 \$
14	4 273 054 610 \$

Source : Compilation manuelle

Comme on peut le constater, la VAN reste positive même avec de petits montants de péage et une VAN de 0 est atteinte avec un péage d'environ 1.36 \$. La valeur du projet continue d'augmenter jusqu'à ce que le montant du péage atteigne environ 12.5 \$ par passage (donc 25 \$ pour un aller-retour) et ensuite diminue, car la perte de surplus des consommateurs devient trop grande. Il faut toutefois mentionner qu'avec de grands montants de péage, la précision diminue beaucoup, car l'hypothèse que de la diminution du temps de transport est 4.37 fois plus importante que le nombre de véhicules abandonnant les routes, mais si 10 à 12 % des usagers abandonnent les routes, cette hypothèse n'est peut-être plus vérifiée.

## **16 Les avantages qualitatifs**

Certains avantages n'ont pas été pris en compte dans cette étude, mais sont tout de même dignes de mention. Premièrement, le péage représente un outil de gestion dynamique du trafic. En effectuant un tel projet, les décideurs peuvent faire varier le montant du péage au jour le jour selon la congestion, ce qui pourrait mener à des bénéfices différents des bénéfices apportés par une politique de péage statique comme celle étudiée ici.

Aussi, le phénomène de « off-peak shifting » ou en français « déplacement vers les heures creuses » n'a pas été étudié. En effet, si le péage est actif seulement pendant les périodes de pointe, les individus avec un horaire flexible pourraient décider de retarder leur voyage. Ce phénomène représente un effet désirable, car les routes ne sont pas saturées en dehors des périodes de pointe, ce qui indique que le coût de la congestion y est très faible. Les impacts de ce « déplacement vers les heures creuses » nécessiterait des simulations informatiques pour être mieux compris.

## **17 Conclusion**

L'évaluation économique du projet de péage sur les ponts de Montréal suggère que celui-ci est un projet très rentable lorsqu'on considère un péage de 7 \$ par passage. La valeur actualisée nette du projet est très élevée, soit 3 238 334 603 \$, et demeure positive malgré une variation des hypothèses de la valeur de la vie, de l'élasticité de la demande, du taux d'actualisation, des coûts de construction et d'exploitation, des coûts d'opération des véhicules et du montant du péage. Une petite argumentation a été fournie pour indiquer qu'avec une année de base de 2009 plutôt que de 2003, le projet serait tout de même rentable.

Cette étude n'a pas pris en compte les questions d'équité entre les individus, c'est-à-dire l'impact sur l'écart entre les riches et les plus démunis, ni de l'équité entre les villes de la région de Montréal. En effet, une étude serait importante dans ce domaine pour distribuer les revenus de péage aux municipalités les plus lésées par ce projet pour améliorer l'acceptabilité.

Enfin, le phénomène d'étalement urbain n'a pas été abordé : il pourrait être intéressant d'étudier l'impact sur la valeur immobilière et sur la décentralisation des entreprises et des travailleurs apportés par un tel projet.

## 18 Bibliographie

AGENCE MÉTROPOLITAINE DE TRANSPORT. *Budget d'opération 2009, adopté le 7 novembre 2008*, 65 p. [En ligne] [http://www.amt.qc.ca/corpo/documents/budget/budget2009/pdf/Budget\\_AMT\\_2009.pdf](http://www.amt.qc.ca/corpo/documents/budget/budget2009/pdf/Budget_AMT_2009.pdf)

AGENCE MÉTROPOLITAINE DE TRANSPORT. *Enquête Origine-Destination*, 2003, [En ligne] <http://www.cimtu.qc.ca/EnqOD/2003/Index.asp>

AGENCE MÉTROPOLITAINE DE TRANSPORT. *Zones tarifaires métropolitaines 2009*, 2009, [En ligne] [http://www.amt.qc.ca/tc/tarifs/pdf/Systarifaire\\_2009.pdf](http://www.amt.qc.ca/tc/tarifs/pdf/Systarifaire_2009.pdf)

ASSOCIATION CANADIENNE DES AUTOMOBILISTES. *Coûts d'utilisation d'une automobile*, 2005, 7 p.

BANQUE DU CANADA -inflation. *Feuille de calcul de l'inflation*, [En ligne] [http://www.bank-banque-canada.ca/fr/taux/inflation\\_calc-f.html](http://www.bank-banque-canada.ca/fr/taux/inflation_calc-f.html)

BANQUE DU CANADA – taux de change. *Convertisseur de devises – dix dernières années*, [En ligne] <http://www.bank-banque-canada.ca/fr/taux/exchfo-f.html>

BOOZ ALLEN HAMILTON. *ACT Transport Demand Elasticities Study*, Canberra Department of Urban Services, 2003, 49 p.

COLORADO DEPARTMENT OF REVENUE. *Colorado Sales/Use Tax Rates*, Taxpayer Service Division, Denver, 2009, 7 p.

DIRECTION DU TRANSPORT TERRESTRE DES PERSONNES. *Programme d'aide*

*gouvernementale au transport collectif des personnes – Volet subvention aux immobilisations*, produit en collaboration avec la Direction de l'Île-de-Montréal et la Direction de la planification et de la coordination des ressources de la Direction générale de Montréal et de l'Ouest, 2008, 77 p.

DOSSO, Mohamed. *Doit-on soutenir le système de péage urbain implanté dans le centre de Londres?*, Département des sciences économique, Université de Montréal, 2006, 68 p.

E-470 PUBLIC HIGHWAY AUTHORITY. *2009 Operating Budget*, 2008, 39 p. [En ligne] <http://www.e-470.com/Default.aspx?pn=FinanceInfo>

E-470 PUBLIC HIGHWAY AUTHORITY. *Toll Map*, 2009 [En ligne] [http://www.e-470.com/images/1-23-09\\_Map\\_with\\_toll\\_rates.jpg](http://www.e-470.com/images/1-23-09_Map_with_toll_rates.jpg)

E-470 PUBLIC HIGHWAY AUTHORITY. *Traffic Volume Comparison Fiscal Year 2008*, 2008. 1 p. [En ligne] <http://www.e-470.com/pdf/Traffic%20Volume%20Comparison.pdf>

FERLAND, Anne-Marie. *Guide de l'analyse Avantages-Coûts des projets publics en transport*, Service de l'économie et du Plan directeur en transport, Direction de la planification, MTQ, 2007, 3 parties.

GILLEN AND LEVINSON. *Assessing the Benefits and Costs of Intelligent Transportation Systems*, Kluwer Academic Publishers, 2002, 314 p.

INFO STM. *Remplacement des bus APS-1 – La STM va de l'avant!*, Publié par la Société de transport de Montréal, 2008, [En ligne] <http://www.stm.info/info/infostm/2008/081205.pdf>

JENKINS AND KUO. *On Measuring the Social Opportunity Cost of Permanent and Temporary Employment*, Canadian Journal of Economics, Canadian Economics Association, vol. 11(2), 1978, 19 p.



LES CONSEILLERS ADEC INC. *Évaluation congestion routière dans la région de Montréal*, produit pour le Ministère des Transports du Québec, 2004, 88 p.

LES CONSEILLERS ADEC INC. *Évaluation des coûts de la congestion routière dans la région de Montréal pour les conditions de référence de 2003*, produit pour le Ministère des Transports du Québec, 2009, 89 p.

LITMAN, Todd. *Transportation Cost Analysis: Techniques, Estimates and Implications*. Victoria Transportation Policy Institute, Canada, 1995

LITMAN, Todd. *Transportation Elasticities – How Price and Other Factors Affect Travel Behaviour*, Victoria Transport Policy Institute, 2009, 69 p. [En ligne] <http://www.vtpi.org/elasticities.pdf>

MISHAN, E. J. *Cost-Benefit Analysis*, Publié par Praeger, 1976, 454 p.

NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM. *Report 463 – Economic Implications of Congestion*, Transportation Board, Nation Academy Press, Washington D.C., 2001, 55 p.

MINISTÈRE DU REVENU DU QUÉBEC. *Guide de l'employeur – Retenues à la source et cotisations*, 2003, 71 p. [En ligne] [http://www.revenu.gouv.qc.ca/fr/formulaires/tp/tp-1015\\_g.asp](http://www.revenu.gouv.qc.ca/fr/formulaires/tp/tp-1015_g.asp)

MONTMARQUETTE, Claude et SCOTT, Iain. *Taux d'actualisation pour l'évaluation des investissements publics au Québec*, produit pour le CIRANO, Montréal, 2007, 30 p.

RÉSEAU DE TRANSPORT DE LONGUEUIL. Budget 2009, 18 décembre 2008, 15 p. [En ligne] <http://www.rtl-longueuil.qc.ca/images/budget.pdf>

SCHRANK AND LOMAX. *Urban Mobility Report 2009*, Texas Transportation Institute, 2009, 134 p. [En ligne] <http://mobility.tamu.edu/ums/report/>

SECRETARIAT DU CONSEIL DU TRÉSOR DU CANADA. *Guide de l'analyse avantages*, 1998

SERVICE DE MODÉLISATION DES SYSTÈMES DE TRANSPORT. *Déplacements des personnes dans la grande région de Montréal – Scénario prévisionnel 2026 tendanciel*, Ministère des transports du Québec, 2007, 59 p.

SOCIÉTÉ DE L'ASSURANCE AUTOMOBILE DU QUÉBEC. *Dossier Statistique, Accidents, parc automobile, permis de conduire*, 2007

SOCIÉTÉ DE TRANSPORT DE MONTRÉAL. *Saviez-vous*, 2009 [En ligne] <http://www.stm.info/en-bref/faq2.htm>

SOCIÉTÉ DE TRANSPORT DE MONTRÉAL. *Tout sur la STM*, 2009 [En ligne] <http://www.stm.info/en-bref/toutsurlaSTM.htm#q34>

SOCIÉTÉ DE TRANSPORT DE LAVAL. *Budget annuel 2009*, 2009, 36 p. [En ligne] [http://www.stl.laval.qc.ca/documents/STL\\_budget2009.pdf](http://www.stl.laval.qc.ca/documents/STL_budget2009.pdf)

STATISTIQUE CANADA. *Recensement du Canada de 2001*, [En ligne] <http://www12.statcan.gc.ca/francais/census01/home/Index.cfm>

TRANSPORT FOR LONDON. *Central London Congestion Charging – Impacts Monitoring*, 2007, 271 p.

## **Annexe 1**

Pont Honoré-Mercier : 4 voies

Pont Champlain : 6 voies

Pont Victoria : 2 voies

Pont Jacques-Cartier : 5 voies

Tunnel Louis-Hippolyte-Lafontaine : 6 voies

Pont Pierre Le Gardeur : 4 voies

Pont Charles-De-Gaulle : 6 voies

Pont Pie IX : 6 voies

Pont Papineau-Leblanc : 6 voies

Pont Ahuntsic : 4 voies

Pont Médéric-Martin : 8 voies

Pont Lachapelle : 6 voies

Pont Louis-Bisson : 6 voies

Pont de l'Île aux Tourtes : 6 voies

Pont Galipeault : 3 voies

Total : 78 voies

## Annexe 2

Avantages nominaux		
Année	Congestion récurrente	Congestion Incidente
2003	0 \$	0
2004	316 389 843 \$	348 028 827,02 \$
2005	326 309 724 \$	358 940 696,13 \$
2006	336 229 605 \$	369 852 565,25 \$
2007	346 149 486 \$	380 764 434,37 \$
2008	356 069 367 \$	391 676 303,48 \$
2009	365 989 248 \$	402 588 172,60 \$
2010	375 909 129 \$	413 500 041,72 \$
2011	385 829 010 \$	424 411 910,83 \$
2012	395 748 891 \$	435 323 779,95 \$
2013	405 668 772 \$	446 235 649,07 \$
2014	415 588 653 \$	457 147 518,18 \$
2015	425 508 534 \$	468 059 387,30 \$
2016	435 428 415 \$	478 971 256,42 \$
2017	445 348 296 \$	489 883 125,53 \$
2018	455 268 177 \$	500 794 994,65 \$

Coûts nominaux				
Année	Construction	Opération	Perte de surplus	Transpondeurs
2003	96 900 000 \$	0 \$	0 \$	52 325 995 \$
2004	0 \$	38 685 653 \$	133 918 491 \$	386 689 \$
2005	0 \$	38 828 071 \$	134 900 889 \$	386 689 \$
2006	0 \$	38 970 488 \$	135 883 286 \$	386 689 \$
2007	0 \$	39 112 905 \$	136 865 684 \$	386 689 \$
2008	0 \$	39 255 322 \$	137 848 082 \$	386 689 \$
2009	0 \$	39 397 740 \$	138 830 480 \$	386 689 \$
2010	0 \$	39 540 157 \$	139 812 877 \$	386 689 \$
2011	0 \$	39 682 574 \$	140 795 275 \$	386 689 \$
2012	0 \$	39 824 991 \$	141 777 673 \$	386 689 \$
2013	0 \$	39 967 409 \$	142 760 071 \$	386 689 \$
2014	0 \$	40 109 826 \$	143 742 468 \$	386 689 \$
2015	0 \$	40 252 243 \$	144 724 866 \$	386 689 \$
2016	0 \$	40 394 660 \$	145 707 264 \$	386 689 \$
2017	0 \$	40 537 078 \$	146 689 661 \$	386 689 \$
2018	0 \$	40 679 495 \$	147 672 059 \$	386 689 \$

Externalités nominales			
Année	Transport en commun	Pollution évitée	Accidents évités
2003	-700 000 000 \$	0 \$	0 \$
2004	-121 502 093 \$	22 367 135 \$	78 226 865 \$
2005	-122 393 407 \$	22 672 319 \$	78 800 721 \$
2006	-123 284 720 \$	22 977 503 \$	79 374 577 \$
2007	-124 176 034 \$	23 282 686 \$	79 948 432 \$
2008	-125 067 348 \$	23 587 870 \$	80 522 288 \$
2009	-125 958 661 \$	23 893 054 \$	81 096 144 \$
2010	-126 849 975 \$	24 198 238 \$	81 670 000 \$
2011	-127 741 289 \$	24 503 421 \$	82 243 855 \$
2012	-128 632 602 \$	24 808 605 \$	82 817 711 \$
2013	-129 523 916 \$	25 113 789 \$	83 391 567 \$
2014	-130 415 230 \$	25 418 972 \$	83 965 423 \$
2015	-131 306 543 \$	25 724 156 \$	84 539 278 \$
2016	-132 197 857 \$	26 029 340 \$	85 113 134 \$
2017	-133 089 171 \$	26 334 524 \$	85 686 990 \$
2018	-133 980 484 \$	26 639 707 \$	86 260 846 \$